

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA USTIAPENAK
BEREZITASUNA**

Septiembre 2013

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar quiero agradecer a:

- Mi tutor del Trabajo Fin de Carrera, Jesús Álvarez Mozos.
- La Cooperativa de Urroz-Villa y a sus agricultores por las parcelas y el manejo que se ha llevado a cabo en ellas.
- Departamento de Suelo del Gobierno de Navarra, por los datos de las calicatas, necesarias para los suelos de las diferentes parcelas.
- Diferentes investigadores de la Universidad Pública de Navarra que han trabajado en la recogida de datos.

Por la ayuda y colaboración en este Trabajo Fin de Carrera.

RESUMEN

Los cereales representan un porcentaje muy importante del total de superficies cultivadas en Navarra, tanto en secano como en regadío. En concreto, el trigo blando y la cebada ocupan aproximadamente el 30% y el 40% respectivamente de la superficie agrícola destinada a cultivos herbáceos en la CF de Navarra (según la estadística agraria de 2012). A nivel mundial la importancia de estos cultivos no es menor, ya que junto con el arroz y el maíz constituyen la base de la dieta en gran parte del mundo.

El desarrollo de estos cultivos y su rendimiento final viene condicionado por elementos de partida (suelos, variedades cultivadas, etc.) y factores dinámicos a lo largo del ciclo de cultivo como la meteorología y el manejo. En este sentido, resulta de gran interés poder realizar estimaciones sobre el rendimiento y la producción a obtener en una determinada zona para poder hacer una mejor gestión del cultivo y adelantarse a problemas que puedan surgir.

Para ello se han desarrollado diferentes modelos matemáticos que simulan los procesos de desarrollo de los cultivos. Entre otros, el programa DSSAT (Decision Support System for Agro-Technology Transfer), basado en su antecesor CERES constituye una herramienta con grandes potencialidades para el manejo de los cultivos de cereal.

En este proyecto se realiza una aplicación del modelo DSSAT a diez parcelas cultivadas con trigo blando o cebada de las cuales se ha hecho un seguimiento detallado en la campaña de 2012. Las parcelas se sitúan en la zona de Urroz Villa y entre marzo y julio de 2012 se monitorizó humedad del suelo en las mismas y desarrollo del cultivo (fenología, altura del cultivo, biomasa y producción final) con una periodicidad de 1-2 semanas. Las variedades de trigo blando utilizadas en la campaña fueron: Berdún, Bokaro, Camargo y García; y las de cebada: Meseta y Opal. La información de campo adquirida permite comparar el desarrollo del cultivo en las diferentes parcelas y realizar un ajuste del modelo DSSAT para evaluar su aplicabilidad y la fiabilidad de sus predicciones.

Por lo general los resultados obtenidos en la simulación son similares a los datos reales obtenidos en campo, por lo que podemos decir que el modelo DSSAT aplicado para el crecimiento de Trigo blando y Cebada constituye una buena herramienta para la toma de decisiones en el manejo de gramíneas.

ÍNDICE

1	Introducción.....	1
2	Antecedentes	2
2.1	Cereales	2
2.1.1	Morfología de los cereales	2
2.1.2	Fisiología	4
2.2	El trigo	9
2.2.1	Historia y origen	9
2.2.2	Clasificación	9
2.3	La cebada	10
2.3.1	Historia y origen	10
2.3.2	Clasificación	11
2.4	Técnicas de cultivo de los cereales	11
2.4.1	Preparación del terreno	11
2.4.2	Siembra	12
2.4.3	Fertilización	13
2.4.4	Malas hierbas	14
2.4.5	Plagas y enfermedades	16
2.4.5.1	Plagas	16
2.4.5.2	Enfermedades	17
2.4.6	Cosecha	19
2.5	Alteraciones fisiológicas de los cereales	19
2.5.1	Asurado	19
2.5.2	Encamado	20
2.6	Situación actual del cultivo	20
3	Modelo de simulación en cultivos	23
3.1	Definición	23
3.2	Clasificación de los modelos	23
3.3	Fases de la simulación	24
3.4	Ventajas de la simulación	24
3.5	Desventajas de la simulación	25

3.6	Modelización agronómica.....	25
3.6.1	DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).....	26
3.6.2	CropSyst.....	27
3.6.3	STICS (Simulateur mulTidisciplinaire pour les Cultures Standard).....	27
4	Objetivo	28
5	Material y método	29
5.1	Descripción del ensayo	29
5.1.1	Aspectos relacionados con el emplazamiento del ensayo.....	29
5.1.2	Material vegetal	31
5.1.2.1	Variedades de trigo	32
5.1.2.2	Variedades de cebada	35
5.1.3	Manejo del cultivo.....	37
5.1.4	Planificación temporal de la toma de datos	44
5.2	Metodología.....	45
6	Resultados.....	57
6.1	Datos reales	57
6.1.1	Humedad del suelo	57
6.1.2	Fenología.....	59
6.1.3	Biomasa.....	61
6.1.4	Producción	62
6.2	Datos simulados	63
6.2.1	Humedad del suelo	63
6.2.2	Fenología.....	64
6.2.3	Biomasa.....	65
6.2.4	Producción	66
6.3	Comparación de datos	67
6.3.1	Humedad del suelo	67
6.3.2	Fenología.....	78
6.3.3	Biomasa.....	89
6.3.4	Producción	100
7	Discusión y conclusiones	102
8	Bibliografía	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología parte de sistema aéreo. (PUC, 2013)	3
Figura 2. Estados fenológicos según escala Zadoks (Fuente: Universidad de Minesota 1995)	7
Figura 3: Principales productores mundiales de trigo	21
Figura 4: Principales productores mundiales de cebada.	21
Figura 5: Superficie cultivada en Navarra para los diferentes cultivos entre 2006-2012.	22
Figura 6: Evolución de la superficie cultivada de trigo y cebada en Navarra entre 2006-2012.	22
Figura 7. Localización de las parcelas.....	29
Figura 8. Trigo blando Berdún. P09 – P10. 5 jun 2012	32
Figura 9. Trigo blando Bokaro. P01. 5 jun 2012.....	33
Figura 10. Trigo blando Camargo. P06. 5 jun 2012	34
Figura 11. Trigo blando García. P04. 5 jun 2012.....	35
Figura 12. Cebada Opal. P07. 5 jun 2012	36
Figura 13. Cebada Meseta. P02, P03, P05, P08. 5 jun 2012.....	37
Figura 14. Planificación temporal de toma de datos.....	44
Figura 15. Datos meteorológicos importados en Weatherman	47
Figura 16. Generación de un nuevo perfil de suelo con Sbuild	48
Figura 17. Información necesaria para crear un nuevo experimento.....	49
Figura 18. Realización de la configuración de campo	50
Figura 19. Realización de la configuración de campo (2)	51
Figura 20. Configuración detalles de siembra.....	51
Figura 21. Opciones de simulación	52
Figura 22. Aplicación nitrógeno y riego.....	53
Figura 23. Actualizar modelo de simulación	53
Figura 24. Ejecutar modelo de simulación	54
Figura 25. Ejecutar para simulación.....	54
Figura 26. Ejecutar opción <i>PlantGro</i> para ver variables para el gráfico.....	55
Figura 27. Seleccionar las variables para realizar el gráfico.....	55
Figura 28. Gráfico simulado	56
Figura 29. Humedad del suelo y precipitación recogida el día del muestreo	57
Figura 30. Humedad y precipitación recogidas el día de muestreo.....	58
Figura 31: Evolución de la fenología de las parcelas de cebada	59
Figura 32. Evolución de la fenología de las parcelas de trigo.....	59
Figura 33. Evolución de la biomasa en parcelas de cebada	61
Figura 34. Evolución de biomasa en parcelas de trigo blando.....	61
Figura 35. Humedad del suelo y precipitación en parcelas de Cebada	63
Figura 36. Humedad del suelo y precipitación en parcelas de Trigo blando	63
Figura 37. Evolución de la fenología en parcelas de Cebada	64
Figura 38. Evolución de la fenología en parcelas de Trigo blando	64
Figura 39. Evolución de la biomasa en parcelas de Cebada	65
Figura 40. Evolución de la biomasa en parcelas de Trigo blando	65

Figura 41. Humedad del suelo parcela N° 7	67
Figura 42. RMSE Humedad del suelo parcela N° 7	67
Figura 43. Humedad del suelo parcela N° 2	68
Figura 44. RMSE Humedad del suelo parcela N°2	68
Figura 45. Humedad del suelo parcela N° 3	69
Figura 46. RMSE Humedad del suelo parcela N°3	69
Figura 47. Humedad del suelo parcela N° 5	70
Figura 48. RMSE Humedad del suelo parcela N°5	70
Figura 49. Humedad del suelo parcela N° 8	71
Figura 50. RMSE Humedad del suelo parcela N°8	71
Figura 51. Humedad del suelo parcela N° 1	72
Figura 52. RMSE Humedad del suelo parcela N°1	72
Figura 53. Humedad del suelo parcela N° 4	73
Figura 54. RMSE Humedad del suelo parcela N°4	73
Figura 55. Humedad del suelo parcela N° 6	74
Figura 56. RMSE Humedad del suelo parcela N°6	74
Figura 57. Humedad del suelo parcela N° 9	75
Figura 58. RMSE Humedad del suelo parcela N°9	75
Figura 59. Humedad del suelo parcela N° 10	76
Figura 60. RMSE Humedad del suelo parcela N°10	76
Figura 61. RMSE Humedad del suelo parcelas Cebada	77
Figura 62. RMSE Humedad del suelo parcelas de Trigo blando	77
Figura 63. Fenología parcela N° 7	78
Figura 64. RMSE Fenología parcela N° 7	78
Figura 65. Fenología parcela N° 2	79
Figura 66. RMSE Fenología parcela N° 2	79
Figura 67. Fenología parcela N° 3	80
Figura 68. RMSE Fenología parcela N° 3	80
Figura 69. Fenología parcela N° 5	81
Figura 70. RMSE Fenología parcela N° 5	81
Figura 71. Fenología parcela N° 8	82
Figura 72. RMSE Fenología parcela N° 8	82
Figura 73. Fenología parcela N° 1	83
Figura 74. RMSE Fenología parcela N° 1	83
Figura 75. Fenología parcela N° 4	84
Figura 76. RMSE Fenología parcela N° 4	84
Figura 77. Fenología parcela N° 6	85
Figura 78. RMSE Fenología parcela N° 6	85
Figura 79. Fenología parcela N° 9	86
Figura 80. RMSE Fenología parcela N° 9	86
Figura 81. Fenología parcela N° 10	87
Figura 82. RMSE Fenología parcela N° 10	87
Figura 83. RMSE Fenología parcelas de Cebada	88
Figura 84. RMSE Fenología parcelas de Trigo blando	88
Figura 85. Biomasa parcela N° 7	89
Figura 86. RMSE Biomasa parcela N° 7	89
Figura 87. Biomasa parcela N° 2	90
Figura 88. RMSE Biomasa parcela N° 2	90
Figura 89. Biomasa parcela N° 3	91

Figura 90. RMSE Biomasa parcela N° 3	91
Figura 91. Biomasa parcela N° 5.....	92
Figura 92. RMSE Biomasa parcela N° 5.....	92
Figura 93. Biomasa parcela N° 8.....	93
Figura 94. RMSE Biomasa parcela N° 8.....	93
Figura 95. Biomasa parcela N° 1.....	94
Figura 96. RMSE Biomasa parcela N° 1	94
Figura 97. Biomasa parcela N° 4.....	95
Figura 98. RMSE Biomasa parcela N° 4.....	95
Figura 99. Biomasa parcela N° 6.....	96
Figura 100. RMSE Biomasa parcela N° 6.....	96
Figura 101. Biomasa parcela N° 9	97
Figura 102. RMSE Biomasa parcela N° 9.....	97
Figura 103. Biomasa parcela N° 10.....	98
Figura 104. RMSE Biomasa parcela N° 10.....	98
Figura 105. RMSE Biomasa parcelas de Cebada.....	99
Figura 106. RMSE Biomasa parcelas de Trigo blando.....	99
Figura 107. Producción en las parcelas de Cebada y Trigo blando	100
Figura 108. Diferencia entre lo observado y simulado en parcelas de Cebada	101
Figura 109. Diferencia entre los observado y simulado en parcelas de Trigo blando..	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información básica de las parcelas.	30
Tabla 2. Manejo parcela N° 7	38
Tabla 3. Manejo parcela N° 2	38
Tabla 4. Manejo parcela N° 3	39
Tabla 5. Manejo parcela N° 5	39
Tabla 6. Manejo parcela N° 8	39
Tabla 7. Manejo parcela N° 1	40
Tabla 8. Manejo parcela N° 4	40
Tabla 9. Manejo parcela N° 6	41
Tabla 10. Manejo parcela N° 9	41
Tabla 11. Manejo parcela N° 10	42
Tabla 12. UF en Kg/Ha de N, P, K aplicado en cada parcela.....	42
Tabla 13. Producción real de grano de las parcelas de Cebada y Trigo blando	62
Tabla 14. Producción simulada de grano en las parcelas de Cebada y Trigo blando	66
Tabla 15. Producción real y simulada de grano (Kg/Ha)	100

1 Introducción

El cultivo de cereales representa un porcentaje muy importante del total de superficies cultivadas en Navarra, tanto en secano como en regadío. En concreto, el trigo blando y la cebada ocupan aproximadamente el 30% y el 40% respectivamente de la superficie agrícola destinada a cultivos herbáceos en la Comunidad Foral de Navarra (según la estadística agraria de 2012 Gobierno de Navarra, 2012). A nivel mundial la importancia de estos cultivos no es menor, ya que junto con el arroz y el maíz constituyen la base de la dieta en gran parte del mundo.

El desarrollo de estos cultivos y su rendimiento final viene condicionado por elementos de partida (suelos, variedades cultivadas, etc.) y factores dinámicos a lo largo del ciclo de cultivo como la meteorología y el manejo. En este sentido, resulta de gran interés poder realizar estimaciones sobre el rendimiento y la producción a obtener en una determinada zona para poder hacer una mejor gestión del cultivo y adelantarse a problemas que puedan surgir. Para ello se han desarrollado diferentes modelos matemáticos que simulan los procesos de desarrollo de los cultivos. Entre otros, el modelo DSSAT (*Decision Support System for Agro-Technology Transfer*), basado en su antecesor CERES constituye una herramienta con grandes potencialidades para el manejo de los cultivos de cereal.

En este proyecto se realiza una aplicación del modelo DSSAT a diez parcelas cultivadas con trigo blando o cebada de las cuales se ha hecho un seguimiento detallado en la campaña de 2012. Las parcelas se sitúan en la zona de Urroz Villa y entre marzo y julio de 2012 se monitorizó humedad del suelo y desarrollo del cultivo (fenología, altura del cultivo, biomasa y producción final) con una periodicidad de 1-2 semanas. Las variedades de trigo blando utilizadas en la campaña fueron: Berdún, Bokaro, Camargo y García; y las de cebada: Meseta y Opal. La información de campo adquirida permite comparar el desarrollo del cultivo en las diferentes parcelas y realizar una evaluación del modelo DSSAT para estudiar su aplicabilidad y la fiabilidad de sus predicciones.

En este trabajo se realiza una evaluación preliminar del modelo, sin entrar en procesos de calibración y validación de sus parámetros. Se evalúa la fiabilidad del modelo en cuanto a las predicciones de humedad del suelo, fenología, biomasa del cultivo y rendimiento o cosecha final.

2 Antecedentes

2.1 Cereales

El termino cereales tiene su origen en las palabras *cerealia numera* que hacen referencia a las ofrendas a Ceres, diosa de la Agricultura y se usa normalmente para referirse al grupo de plantas herbáceas cultivadas que producen un grano rico en almidón y que ocupan el lugar más destacado en la agricultura mundial (González Torres y Rojo Hernández, 2005). El origen del cultivo de los cereales se puede decir que se sitúa en el neolítico ya que se han encontrado restos de trigo, cebada, avena y centeno de esa época de la historia. Además se conoce que el arroz ya era cultivado en China 2700 años a.C. (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

En un principio el consumo de los cereales fue de forma cruda, luego el hombre aprendió a realizar ciertas transformaciones con algunos de esos granos, para obtener alimentos más apetitosos, más digestibles, más nutritivos y de mejor conservación (González Torres y Rojo Hernández, 2005). Uno de los descubrimientos más importantes de la historia de la humanidad y del inicio de la agricultura como arte, ciencia y técnica fue el ver que al moler los granos del cereal se producía harina que al mezclarla con agua fermentaba, es decir aumentaba de volumen y que sometida a calor llevó al descubrimiento de la fabricación del pan (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

Actualmente los cereales ocupan un lugar muy destacado en la alimentación de ciertas poblaciones, especialmente de los países subdesarrollados, donde representan del 50 al 80% del régimen alimenticio. En los países desarrollados dicha proporción es muy inferior, frecuentemente menor del 15% (López Bellido, 1990). Son una gran fuente de alimentación humana ya que contienen hidratos de carbono, grasas, sales minerales y proteínas, almacenando en su grano una gran cantidad de energía fácilmente asimilable (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

2.1.1 Morfología de los cereales

Los cereales son especies anuales pertenecientes a la familia de las gramíneas, actualmente denominadas Poaceas. Una gramínea se desarrolla, en general, en forma de mata, y está compuesta por un conjunto de unidades más simples: el vástago principal y los hijuelos.

Presentan un **sistema radicular** compuesto de raíces primarias o seminales y raíces secundarias, adventicias o coroneales. Las raíces primarias proceden del embrión y varían en número según las especies siendo en trigo y cebada de 5 a 6. Estas raíces son funcionales normalmente desde la emergencia hasta el comienzo del ahijado. Las raíces secundarias nacen del nudo de ahijamiento apareciendo cuando la planta emite sus tallos, para sustituir progresivamente a las raíces seminales. Son de tipo fasciculado y se extienden oblicuamente

en todas las direcciones, variando su importancia y profundidad según la especie; con relación al trigo, la cebada tiene unas raíces más superficiales y menos importantes. En general son poco profundas.

Siendo el sistema radicular el encargado de proporcionar alimento, hidratación y sostén a la planta, el número de raíces adventicias presenta una relación muy estrecha con el de tallos herbáceos efectivos. Los tipos de cereales de primavera, que están dotados de una aptitud para el ahijado mayor que los de invierno, tienen un sistema radicular secundario más abundante. La emisión de raíces secundarias cesa al iniciarse el encañado, aunque a veces puede prolongarse a fases posteriores, cuando los órganos florales se diferencian sobre cada tallo.

El **sistema aéreo** de los cereales está formado por tallos que parten del nudo de ahijamiento. Los hijuelos que forman las matas características de las gramíneas, pueden considerarse unidades biológicas autónomas, aunque no sean totalmente independientes. Un hijuelo en estado vegetativo está formado por varias hojas, sin que se muestre el tallo, porque está contraído. Cuando éste se desarrolla, las hojas se disponen a lo largo del tallo y aparece una inflorescencia en su extremo superior. Cada tallo o vástago porta las hojas, acabando, en su extremo, en la inflorescencia.

Los tallos están formados por nudos y entrenudos. Los entrenudos de la base del tallo son más cortos, dependiendo su longitud y solidez del número de haces leñosos y de la presencia de esclerenquima. Cuando la planta está madura, en cebada y algunos trigos, los entrenudos son huecos, mientras que en los trigos duros los entrenudos están llenos.

Las hojas se disponen alternas y en dos filas a lo largo del tallo. Cada hoja consta de dos partes: la vaina y el limbo. La vaina es la parte inferior que envuelve el entrenudo y sirve de protección a la yema basal. El limbo o parte superior, es aplanado, presenta unas nerviaciones paralelas y es más largo que ancho, aunque su longitud varía según la especie, el cultivar y el lugar que ocupa en el tallo. El limbo y la vaina se unen formando un ángulo, de amplitud variable; en esta unión puede existir una pequeña membrana o lámina membranosa, no vascular, más o menos alargada y dentada, denominada lígula. A cada lado de ésta, en la base del limbo, se encuentran las estípulas, más o menos abrazadoras y vellosas según especies.

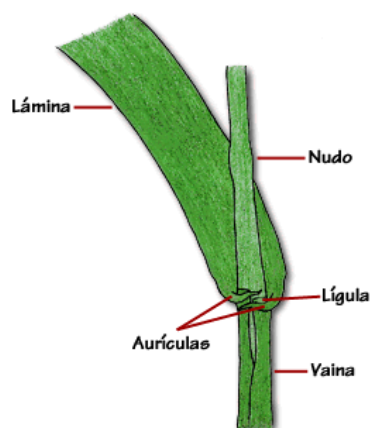


Figura 1. Morfología parte de sistema aéreo. (PUC, 2013)

El comienzo del periodo reproductivo es difícil de determinar, ya que la planta no presenta modificaciones morfológicas visibles externamente. Al acabar la fase de iniciación floral todas las espiguillas embrionarias han alcanzado, aproximadamente, el mismo estado de desarrollo. A partir de dicho momento la planta sufre una serie de transformaciones que afectan a varios de sus órganos. El ápice se transforma en inflorescencia: en cada primordio de espiguilla se irán desarrollando los distintos órganos florales. El proceso culminará en los estadios de meiosis o formación de gametos, antesis o floración y fecundación, estadio con el que se acaba la fase y el propio periodo (Pujol Palol, 1998).

Los cereales como el trigo y la cebada presentan una inflorescencia de tipo espiga. Su unidad morfológica básica es la espiguilla cuyo conjunto integra la inflorescencia. La espiguilla está formada por una o más flores reunidas en espiga, es decir, unidas directamente a su eje, y protegidas por dos brácteas, las glumas. En el caso de la cebada, las glumas han quedado reducidas a simples filamentos.

La flor típica de las gramíneas comprende: dos brácteas protectoras, tres estambres, un ovario con dos estigmas, en general, y dos o tres pequeñas escamas, situadas en la base del ovario, los lodículos, cuya misión es forzar la apertura de las brácteas en el momento de la antesis (Pujol Palol, 1998). La polinización se produce en general cuando la espiga no ha emergido aun de la cubierta formada por la vaina de la banderola (Molina Cano, et al. 1989).

El fruto de una gramínea es una cariósipide, es decir, un fruto seco indehisciente en el cual el propio pericarpio está íntimamente unido al tegumento de la semilla y no puede separarse de ésta sin rasgar los tejidos. El grano difiere según la especie, e incluso según las variedades, variando su tamaño, clasificándose en dos grandes grupos: grano o cariósipide vestido como el de la cebada y grano desnudo como el del trigo. El grano es vestido cuando en la madurez y en la operación de trilla quedan las glumillas adheridas al grano. El grano es desnudo cuando se desprenden las glumillas del grano, espontáneamente o en la trilla.

2.1.2 Fisiología

El ciclo de desarrollo de los cereales se divide en diferentes periodos o fases (denominados estados fenológicos), cada una de las cuales es designada por las características que la planta manifiesta durante el mismo: ahijado, encañado, espigado y maduración. Los distintos estadios fenológicos indican la edad anatómica de la planta y son importantes porque numerosas intervenciones agronómicas deben realizarse en momentos concretos del desarrollo de la planta. El periodo vegetativo o de formación de hojas, transcurre desde la germinación hasta el fin del ahijamiento; el periodo de reproducción o de formación de tallos va desde el encañado hasta la fecundación y el periodo de formación y maduración del grano transcurre desde la fecundación hasta la maduración de la semilla.

Las escalas empleadas para medir el desarrollo se pueden clasificar en dos tipos, según el tipo de observación utilizado. Una se basa en el estado de desarrollo del ápice terminal (escala de Jonard) y las otras se apoyan en las características morfológicas de la planta (escalas de Feekes–Large y escala de Zadocks–Chang–Konzak) (López Bellido, 1990).

Actualmente la escala más extendida es la BBCH que es un sistema para una codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono – y dicotiledóneas. Es el resultado de un grupo de trabajo conformado por el Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura (BBA) de la República Federal Alemana, el Instituto Federal de Variedades (BSA) de la República Federal de Alemania, la Asociación Alemana de Agroquímicos (IVA) y el Instituto para Horticultura y Floricultura en Grossbeeren/ Erfurt, Alemania (IGZ). El código decimal, se divide principalmente entre los estadios de crecimiento principales y secundarios y está basado en el bien conocido código desarrollado por ZADOKS en 1974 (Bellido, L. 1990) con la intención de darle un mayor uso a las claves fenológicas

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de los cereales: (Avena=*Avena sativa* L., Cebada= *Hordeum vulgare* L., Trigo = *Triticum spec.* L., Centeno = *Secale cereale* L.)

Código	Descripción
Estadio principal 0. Germinación	
00	Semilla seca
01	Comienza la imbibición de la semilla
03	Imbibición completa de la semilla
05	Radícula (raíz embrional) emergencia de la semilla
06	Radícula alargada, formando pelos radiculares y raíces secundarias
07	Coleóptilo, emergido de la semilla
09	Emergencia: el coleóptilo traspasa la superficie del suelo
Estadio principal 1. Desarrollo de las hojas (tallo principal)	
10	1ª hoja, atraviesa el coleóptilo
11	1ª hoja, desplegada
12	2 hojas desplegadas
13	3 hojas desplegadas
1.	Los estadios continúan hasta 9 o más hojas desplegadas
19	9 o más hojas desplegadas
Estadio principal 2. Formación de brotes laterales (macollaje)	
20	No hijuelo visible
21	Comienzo del macollamiento; 1 hijuelo visible
22	2 hijuelos o macollas visibles
23	3 hijuelos o macollas visibles
2.	Los estadios continúan hasta...
29	Fin del macollamiento; el máximo de hijuelos o macollas.
Estadio principal 3. Encañado	
30	Comienzo del encañado: pseudotallo e hijuelos erectos; el primer entrenudo comienza a alargarse; el extremo de la inflorescencia está 1cm por encima del nudo del ahijamiento
31	1 ^{er} nudo por lo menos a 1 cm por encima del nudo de macollaje.
32	2ª nudo perceptible, a 2 cm del 1 ^{er} nudo
33	3 ^{er} nudo perceptible a 2 cm del 2º nudo

3.	Los estadíos continúan hasta...
37	Aparece la última hoja (hoja bandera), aún enrollada
39	Estadío hoja bandera: hoja bandera completamente desenrollada, lígula recién visible.
Estadío principal 4. Hinchamiento de la panículas o espigas (Embuchamiento)	
41	Estadío hinchamiento temprano; se alarga la vaina de la hoja bandera
43	Estadío hinchado medio; se empieza a ver la vaina de la hija bandera hinchada.
45	Estadío hinchado tardío; la vaina de la hija bandera está hinchada
47	Se empieza a abrir la vaina de la hija bandera
49	Primeras aristas (barbas), visibles (sólo en variedades aristadas)
Estadío principal 5. Salida de las espigas o panículas (Espigado)	
51	Comienzo del espigado; la punta de la espiga o panícula emergen de la vaina. 1 espiguilla recién visible.
52	20% de la espiga emergida.
53	30% de la espiga emergida.
54	40% de la espiga emergida.
55	Mitad del espigado; emergida la mitad de la espiga o panícula.
56	60% de la espiga emergida.
57	70% de la espiga o panícula emergida.
58	80% de la espiga emergida.
59	Fin del espigado: la espiga o panícula completamente fuera.
Estadío principal 6. Floración (tallo principal)	
61	Comienzo de la floración: primeras anteras visibles
65	Plena floración: 50% de las anteras maduras
69	Fin de la floración: todas las espiguillas han terminado la floración, pero todavía pueden permanecer algunas anteras deshidratadas.
Estadío principal 7. Formación del fruto	
71	Estadío de madurez acuosa: los primeros granos han alcanzado la mitad de su tamaño final.
73	Grano lechoso temprano
75	Grano lechoso medio: granos de tamaño final verdes todavía.
77	Grano lechoso tardío
Estadío principal 8. Maduración de frutos y semillas	
83	Pastoso temprano
85	Pastoso blando: contenido del grano blando pero seco, no se mantiene la huella de la uña del dedo
87	Pastoso duro: contenido del grano sólido, se mantiene la huella de la uña
89	Madurez completa: grano duro, difícil de dividir con la uña del pulgar
Estadío principal 9. Senescencia	
92	Sobre-madurez: granos muy duros, no pueden ser mellados con la uña
93	Granos desprendiéndose
97	Planta muerta
99	Producto cosechado

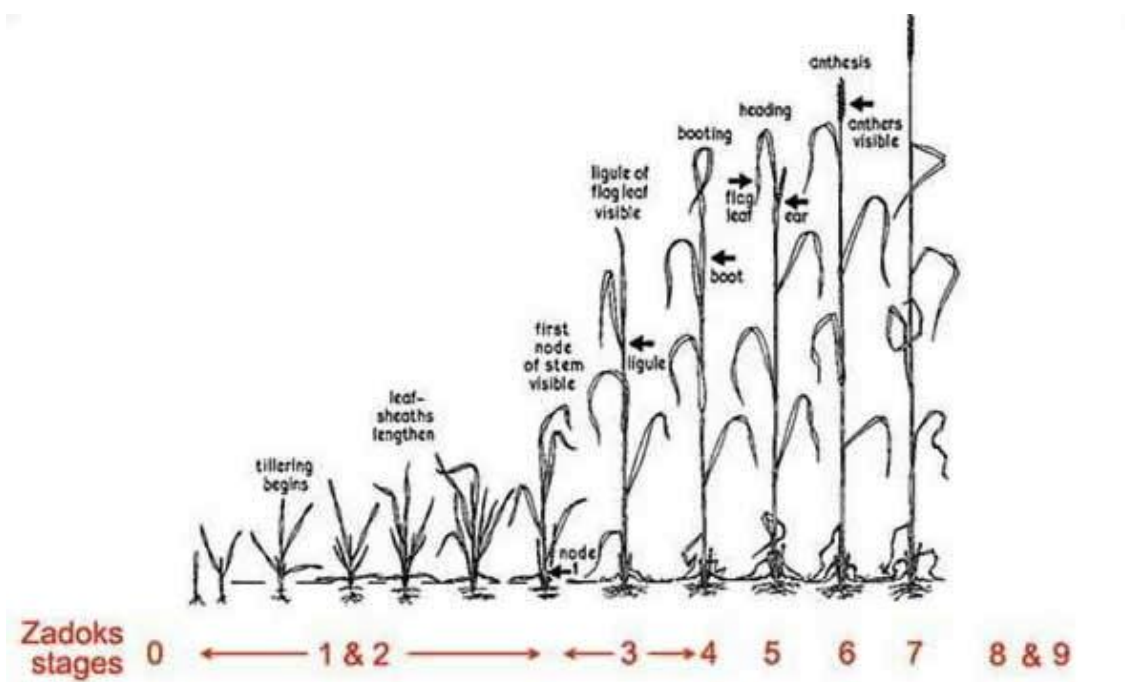


Figura 2. Estados fenológicos según escala Zadoks (Fuente: Universidad de Minesota 1995)

El **periodo vegetativo** va desde la germinación hasta el inicio de alargamiento del tallo principal (comienzo del encañado) y presenta 3 fases:

La primera fase se denomina germinación y abarca la germinación propiamente dicha, en la que se lleva a cabo la emergencia de las raíces seminales de la coleoriza y en el lado opuesto el crecimiento del coleóptilo que protege la primera hoja. Esta etapa se ve influenciada por factores del suelo como son humedad y temperatura y el poder germinativo de la semilla. Esta etapa se extiende entre 10 y 15 días.

La segunda fase es la nascencia y comienza cuando la primera hoja rompe el coleóptilo, se alarga y da lugar a la aparición de la segunda, tercera y cuarta hoja. Estas cuatro primeras hojas nacen desde el nudo de ahijamiento, en la base de la planta. La velocidad de crecimiento de esta fase está determinada por la temperatura ambiental.

La última etapa de este periodo es el ahijado. El ahijado se caracteriza por la diferenciación de las yemas en la axila de cada una de las primeras hojas. Es un proceso de ramificación. El primer tallo aparece en la axila de la primera hoja, cuando la planta se encuentra en el estado de cuatro hojas.

Tras la aparición del primer tallo irán los tallos primarios que darán lugar a las yemas axilares de las hojas primarias, que a su vez darán lugar a los tallos secundarios para dar lugar sucesivamente a los terciarios. La capacidad de emitir mayor o menor número de tallos secundarios y terciarios es una característica específica y varietal. El número total de tallos emitidos por una planta caracterizará su ahijamiento.

La capacidad para el ahijamiento depende, en primer lugar de la especie y variedad, pero también se ve influenciado por la época de siembra, la temperatura, el grado de abonado de la tierra y la profundidad de siembra.

El **periodo reproductor**, también denominado encañado o periodo de formación de tallo, es la etapa donde comienza a disminuir el ahijamiento y se inicia la elongación de entrenudos. El primer síntoma visible es el endurecimiento de los tallos, a la vez que la yema apical cambia totalmente su función pasado de ser una simple yema vegetativa a ser un esbozo de inflorescencia en la que se van a diferenciar sucesivamente todas las partes y órganos de la futura espiga. Los cambios en la funcionalidad de la espiga dependen de las características genéticas propias del cereal (especie y variedad), las condiciones climáticas y sobre todo la temperatura y longitud del día.

Los factores que regulan el paso de la planta del estado vegetativo al de reproducción son de tipo genético (periodo juvenil) y de tipo climático (vernalización y fotoperiodo). Mientras la planta se encuentra en estado juvenil es insensible a la duración del día, permaneciendo en estado vegetativo cualquiera que sean las condiciones del medio. Los cereales de ciclo largo necesitan tener una longitud de día entre 12 y 14 horas de luz para dar lugar a los esbozos de espiguillas y superar el proceso de vernalización. Este concepto hace referencia al periodo frío que los cereales necesitan para completar su desarrollo y que se suele contabilizar por días de frío ($0^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$) que la especie o variedad necesita. El grado de vernalización necesario se debe saber para poder establecer la fecha de siembra y adaptar el ciclo de cultivo al medio (López Bellido, 1990).

El último periodo es el denominado **periodo de maduración del grano**, es un periodo relativamente uniforme ya que no se dan nuevas modificaciones en los órganos de la planta a excepción del engrosamiento del grano y el secado de la planta. La formación del grano se lleva a cabo en tres etapas:

La primera es la de multiplicación celular intensa es donde el grano aumenta su peso en agua y materia seca, incrementando su volumen de manera que al final de esta etapa el grano ya tiene la forma definitiva pero aun presenta color verde.

En la segunda etapa se produce un enriquecimiento en glúcidos y proteínas, aumenta el peso en materia seca y el peso de agua es alrededor de 40 ó 50% sobre el peso fresco. Esta etapa se conoce como madurez fisiológica (Gonzales Torres y Rojo Hernández, 2005)

La última etapa es la de desecación o secado de grano; en esta etapa se reduce el peso del grano rápidamente como consecuencia de la pérdida de agua hasta alcanzar una humedad del 12 – 15% o madurez comercial. El grano se endurece y adopta una estructura vítrea. Al final este periodo el grano se encuentra en el estado adecuado para la cosecha.

2.2 El trigo

2.2.1 Historia y origen

La utilización de los primeros tipos de trigo se produjo hacia 15000- 10000 años a.C. pero no se conoce con precisión donde se originó tal y como lo conocemos hoy (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

Los estudios de Candolle indican que el trigo es originario de Mesopotamia, mientras que Vavilov afirma que las especies del genero *Triticum* han tenido su centro de diferenciación en Turquía, Afganistán e India. Sin embargo otras investigaciones afirman que el trigo tuvo su origen en la zona comprendida entre Asia Menor y Afganistán. La evolución del trigo a partir de gramíneas silvestres tuvo lugar, probablemente, en algún lugar del Cercano Oriente, posiblemente en el área conocida como el Creciente Fértil (López Bellido, 1990).

El trigo aparece en murales descubiertos en tumbas egipcias a todo lo largo de la ribera del Nilo. Granos de trigo carbonizados, muy parecidos a los actuales *Triticum compactum* y *Triticum aestivum*, han sido encontrados en excavaciones arqueológicas. Egipto es reconocido como el lugar donde se comenzó la elaboración del pan fermentado (López Bellido, 1990.)

El cultivo del trigo se extendió en todas las direcciones desde el Medio Oriente al resto del mundo. Entre las primeras áreas de expansión figura la Cuenca Mediterránea, que según algunos autores ha jugado un papel importante en la diferenciación de los trigos, en particular del trigo duro. En la Península Ibérica el cultivo del trigo se extendió a partir del año 4000 a.C, destacando las producciones del valle del Duero Occidental y de las regiones lusitánicas y tartésica, parte de las cuales ya eran exportadas en la dominación románica (López Bellido, 1990).

2.2.2 Clasificación

El trigo pertenece a la familia de las Gramíneas (Poaceas), y tiene de una a varias flores por espiguilla, que son sésiles y alternan en lugares opuestos en el raquis, formando una verdadera espiga (López Bellido, 1990).

Se pueden establecer diferentes tipos de clasificaciones atendiendo a diferentes aspectos como son el tipo de harina que se puede obtener, la textura del endospermo y la época de siembra. Según el tipo de harina que se puede obtener, es decir, según su utilidad, el trigo se divide en trigo blando y trigo duro. El trigo blando es un grupo al que pertenecen una serie de especies que se destinan fundamentalmente a la producción de pan en Europa. La especie mas abundante dentro de este grupo es el *Triticum aestivum*. El grano al romperse

presenta una diferencia de textura entre el borde, más duro, y el centro más harinoso. Su contenido en almidón, grasas, hierro fósforo y vitamina B es superior al trigo duro. El trigo duro tiene un grano más alargado, estrecho y duro, que al romperse es cristalino y uniforme. Presenta más proporción de proteínas, agua y calcio. En Europa es utilizado para la producción de pastas.

Según la textura del endospermo, los trigos se dividen en dos grupos, los trigos vítreos y los trigos harinosos. Los trigos vítreos son granos de aspecto traslucido, cuyo peso específico suele ser más elevado. Por otra parte los trigos harinosos tienen como característica que los granos son opacos. El carácter vítreo o harinoso es hereditario pero también se ve afectado por el medio ambiente y el clima que les rodea durante su formación (el abono nitrogenado favorece el carácter vítreo y la presencia de lluvias fuertes, suelos arenosos y plantaciones densas influye en el aspecto harinoso).

Según la época de siembra encontramos trigos de invierno y trigos de primavera. Los trigos de invierno son aquellos que se siembran en otoño, crecen de forma lenta durante el invierno y son cosechados en verano entre finales de junio y agosto. Los trigos de primavera se siembran en primavera y se cosechan a final de verano; estos trigos se siembran en climas donde el invierno es muy acusado y no podrían soportarlo.

2.3 La cebada

2.3.1 Historia y origen

Es el cereal más antiguo que el hombre ha cultivado. Fue el cereal donado por la diosa Ceres y para los egipcios el don de Isis, simbolizando su germinación la resurrección de Osiris. Es originaria de Asia. En China ya se cultiva desde la antigüedad y se utilizaba como alimento de hombres y animales. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura.

En excavaciones arqueológicas realizadas en el valle del Nilo se descubrieron restos de cebada, en torno a los 15.000 años de antigüedad, además los descubrimientos también indican el uso muy temprano del grano de cebada molido.

La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia entre los cereales, después del trigo, maíz y arroz. La causa de que continúe siendo un cereal importante, después de tantos siglos de cultivo, se debe a su amplia adaptación ecológica, a su utilización, tanto para alimentación animal como humana, y a la alta calidad de la malta de cebada para la fabricación de cerveza. Actualmente se utiliza en países desarrollados en un 75-80% para alimentación animal y entre un 20-25% para la elaboración de malta.

2.3.2 Clasificación

La mayoría de las cebadas cultivadas pertenecen a la especie *Hordeum vulgare* L. *Sensu lato*, que es un miembro de la tribu *Triticeae* de la familia Gramineae (Molina Cano, et al.1989).

Las cebadas se dividen según la época de siembra en cebadas de invierno, que son aquellas que se siembran en otoño, crecen de forma lenta durante el invierno y se cosechan en verano entre finales de junio y agosto; y cebadas de primavera, que son aquellas que se siembran en primavera y se cosechan a final de verano.

Según el número de espiguillas, las diferentes variedades se clasifican en: cebada de dos carreras o cebada cervecera, es aquella que después de madurar la espiga, solamente queda la espiguilla central. Este tipo de cebadas son las más antiguas ya que se parecen a la variedad silvestre. Existen restos arqueológicos que muestran su presencia hace 9000 años. Cebada de seis carreras o caballar, es aquella que mantiene las tres espiguillas. Son las más modernas, aparecen hace unos 6000 ó 7000 años en Egipto o Mesopotamia. Y cebada de cuatro carreras, es aquella que mantiene las dos espiguillas laterales después de desaparecer la central. Son variedades intermedias en el tiempo.

Según las semillas esten o no protegidas, se clasifican en: (1) cebada con semilla protegida, que son aquellas que la semilla está protegida por la lema y la palea (son variedades utilizadas para la fabricación de cerveza y para el consumo animal) y (2) cebada con la semilla desnuda, son aquellas en que la semilla no está cubierta. Estas últimas son variedades que han evolucionado para ser utilizadas para el consumo humano (panes, pastas,...)

2.4 Técnicas de cultivo de los cereales

2.4.1 Preparación del terreno

El objetivo principal de la preparación del terreno es conseguir que sea un medio con las características físicas, químicas y biológicas adecuadas para el cultivo. El suelo ha de ser un soporte físico que sirva para la fijación radicular de las plantas y ha de tener unas condiciones adecuadas de humedad, oxigenación y temperatura para su implantación y desarrollo. En el aspecto químico ha de proveer al cultivo de los elementos nutritivos de naturaleza mineral necesarios para su desarrollo. Finalmente las condiciones biológicas del suelo permitirán la acción o no de determinados microorganismos y organismos superiores animales o vegetales.

Existen distintas técnicas para preparar el terreno físicamente dependiendo de cuál ha sido el uso anterior de éste o su estado actual. Si el cereal va después de una leguminosa, se

realizará una labor profunda antes del verano, pues las leguminosas poseen las raíces gruesas, y éstas dejan huecos en el suelo que son muy perjudiciales para el cereal; después bastará con una labor superficial y un gradeo antes de la siembra. Si al cereal le precede un barbecho, antes de sembrar se realizará una labor superficial si el terreno es suelto o profunda si es compacto, seguida de un gradeo. De forma general, antes de la siembra, si el terreno es muy suelto conviene dar un pase de rodillo para comprimir el suelo y, después de la siembra, otro para que la tierra se adhiera bien a la semilla. La labor superficial la realizaríamos con un Chisel y la de profundidad con un subsolador o un arado de vertedera, tras estos aperos pasaríamos un molón para comprimir el suelo. También puede realizarse un no laboreo que sería pasar directamente a la siembra con una sembradora de siembra directa.

Las labores para preparar el terreno químicamente se realizan según las necesidades de éste y del cultivo. Se puede realizar un abonado de fondo para que el suelo ya tenga nutrientes a la hora de la siembra. Esta labor se lleva a cabo con una abonadora. En cuanto a la preparación biológica, se hace un tratamiento herbicida en función de la cantidad de malas hierbas presentes en el campo y también se puede realizar un abonado orgánico.

El buen estado estructural del suelo tiene como objetivo conseguir una germinación rápida de la semilla y permitir a las raíces crecer y explorar mayores volúmenes de suelo.

2.4.2 Siembra

Además de una buena preparación del terreno, para una correcta siembra hay que tener en cuenta aspectos como la fecha, la dosis y la profundidad de siembra, así como el marco de plantación.

Para determinar la dosis de siembra hay que sumar a la densidad de planta que se quiere alcanzar, las pérdidas estimadas. También ha de conocerse el peso de la semilla para determinar la cantidad a sembrar en kilogramos. En el trigo la dosis de siembra pueden variar de 200 a 220 kg/ha zona fresca y húmeda. Esto se estima sabiendo que la densidad de siembra de trigo en campo ha de ser de unas 400 semillas/m² para trigo blando y de unas 450 semillas/m² en trigo duro. En cebada la dosis de siembra varía entre 180 a 200 kg/ha. Esto se estima sabiendo que la densidad de cebada en campo ha de ser de unas 350 semillas/m².

La siembra se realiza entre los meses de octubre y noviembre, siendo la fecha concreta variable en función de la especie, variedad y cómo se encuentre el tempero en ese momento. La siembra se realiza de unos 3 a 6 cm de profundidad y de 12 a 10 cm entre líneas. La siembra se puede realizar con una sembradora convencional tras el laboreo de la tierra o con una de siembra directa.

2.4.3 Fertilización

Hay 16 elementos químicos que se consideran esenciales para la vida de las plantas. De estos elementos el carbono, el oxígeno y el hidrógeno son suministrados por el aire y el agua. Los 13 restantes deben ser aportados por el suelo. A estos 13 elementos se les llama elementos nutritivos y se pueden clasificar en elementos primarios, elementos secundarios y microelementos (Fuentes Yagüe, 2002).

Los elementos primarios son aquellos que las plantas necesitan en grandes cantidades como son el nitrógeno, fósforo y potasio, para los cuales las necesidades de las plantas son mayores que su disponibilidad en el suelo y por lo tanto hay que aportarlos de manera cuantiosa. Los elementos secundarios son aquellos que las plantas consumen grandes cantidades pero que por lo general están disponibles en el suelo y son el calcio, el magnesio y el azufre. Por último están los microelementos de los cuales las plantas necesitan pequeñas cantidades y en general sólo hay que hacer aportes en casos especiales. Se consideran microelementos el hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro (Fuentes Yagüe, 2002).

El objetivo fundamental de la fertilización es mantener o aumentar los elementos que las plantas necesitan a lo largo del ciclo y especialmente en aquellos momentos en que los necesitan en mayor cantidad. Por ello el conocimiento de la riqueza del suelo, de las exportaciones del cultivo a partir de la composición de los productos cosechados y de la evolución de estos elementos en el suelo permitirá establecer el balance de cada uno de ellos en el suelo (Fuentes Yagüe, 2002).

La distribución de los abonos en el suelo se realiza de tal forma que se consiga la máxima eficacia, es decir que las plantas puedan absorber la mayor cantidad posible de los elementos nutritivos aplicados. Se deben aplicar en una época en la que el cultivo pueda acceder a ellos cuando lo demanden sus necesidades. En el abonado tradicional hablaremos de abonado de fondo y abonado de cobertera. El abonado de fondo se realiza poco antes de la siembra y en este abonado se aporta fundamentalmente el fósforo, el potasio y una parte de nitrógeno. El abono se entierra mediante una labor de grada o vertedera. El abonado de cobertera se realiza durante el desarrollo del cultivo y en él se aporta nitrógeno restante. En estas aplicaciones también se puede añadir algún microelemento como puede ser magnesio si se sabe que es deficitario en el terreno. Esta aplicación de abonado se realiza en enero o febrero dependiendo si se aplica urea o nitrato respectivamente.

El trigo puede mostrar necesidades de algún otro elemento como por ejemplo el azufre. Para el cultivo en España y para una producción media de 4t/ha, un abonado correcto sería: abonado de fondo con una dosis de 300kg/ha y abonado de cobertera 200 kg/ha, tanto para trigos duros como blandos. El abono utilizado de fondo sería un combinado N P K y el de cobertera urea (S.C.A. San José de Sádaba, 2013).

En el caso de la cebada, el ritmo de absorción de materias minerales es muy elevado al comienzo de la fase vegetativa, disminuyendo después hasta llegar a anularse. En este cultivo ha de tenerse en cuenta no realizar aportaciones excesivas de nitrógeno, ya que es muy sensible al encamado, y en cebadas cervceras, la mayor proporción de nitrógeno disminuye su calidad (Guerrero, 1999). Un abonado lógico para una producción de 4 tm/ha sería la

aplicación de: abonado de fondo con una dosis de 270kg/ha y abonado de cobertera 180 kg/ha. El abono utilizado de fondo sería un combinado N P K y el de cobertera urea.

2.4.4 Malas hierbas

Las malas hierbas pueden constituir un grave perjuicio para el cultivo de los cereales al competir con ellos por los elementos nutritivos disponibles y el agua. Asimismo también se establecerá una competencia por la luz que puede afectar a la fotosíntesis de la planta de cereal. Las malas hierbas también pueden provocar problemas en la cosecha ya que las malas hierbas suelen tener ciclos distintos a la planta de cereal y si existen en el terreno en el momento de la cosecha puede aumentar el contenido de humedad del grano cosechado (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

Hay que realizar unas medidas preventivas para el control de las malas hierbas. Estas medidas consisten en utilizar para la siembra semilla certificada, eliminar la maleza en los bordes de caminos y lindes entre parcelas, impedir la diseminación por el ganado, las personas o la maquinaria y evitar que con el laboreo se propaguen órganos vegetativos.

Las malas hierbas en cereal se clasifican en malas hierbas de hoja ancha o de hoja estrecha.

-Las de **hoja ancha** son plantas dicotiledóneas. Las más comunes son:

- Amapola (*Papaver rhoeas* L.). Es característica por sus flores de color rojo escarlata, grandes y solitarias en el ápice del tallo. Su frecuencia es alta en la parte norte del país, llegando a ocasionar problemas serios en comunidades como Navarra.
- Centidonia (*Polygonum aviculare*). Presenta un porte rastrero y sus hojas son rastreras con un color verde homogéneo. Afecta a Aragón, Navarra, Cataluña, Castilla-León, Extremadura y Andalucía occidental.
- Fumaria (*Fumaria officinalis* L.). Sus hojas son verde-azuladas y presentan una sola nervadura en el envés. Las flores son purpurinas o rosas en penacho de flores axilares o terminales. No causa daños muy acentuados en los cultivos.
- Mostaza Silvestre (*Sinapis arvensis*). De frecuencia alta en las zonas cerealistas, siendo una de las especies más extendida en el país. Presenta hojas alternas pelosas y flores de color amarillo oro agrupadas en corimbos.
- Lapa (*Gallium aparine* L.). es una planta con cotiledones persistentes, ovales y peciolados que se estrechan hacia el ápice. Sus hojas son verticiladas y las flores blancas y pequeñas. El daño que causa en los cultivos es de nivel elevado.

- Lehecino (*Sonchus oleraceus* L.). Tiene unos cotiledones en forma de cuchara. Las hojas las tiene profundamente divididas en segmentos dentados y presenta unas flores amarillas. La presencia de esta especie crea un alto riesgo para el cultivo.
 - Manzanilla silvestre (*Matricaria chamomila*). Es característico su agradable aroma a manzanilla. Tiene flores en capítulos de 2,5 a 3,5 cm, de color amarillo dorado en el centro y blancas las periferias. Causa daños de forma moderada en las zonas cerealistas.
 - Margaritón (*Chrysanthemum* spp.). Sus dos especies más problemáticas son *Chrysanthemum coronarium* y *Chrysanthemum segetum*. Dentro de las malas hierbas de hoja ancha, está considerada entre las más problemáticas en los cereales, con una capacidad de proliferación muy abundante si no se controla adecuadamente.
 - Zurrón de pastor (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.). La plántula presenta hojas dentadas y enteras. La planta adulta tiene las hojas inferiores dispuestas en roseta y las hojas del tallo extendidas progresivamente en una punta en su ápice. Las flores son blancas y pequeñas y están dispuestas en penachos sobre pedúnculos extendidos. Causa altos daños en los cultivos cerealistas.
- Las de **hoja estrecha** son plantas monocotiledóneas (gramíneas), herbácea, anual o perenne, con tallo cilíndrico hendido con nudos. Las hojas son finas y alargadas y los tallos poseen a menudo granos harinosos en espigas. Al ser gramíneas es más difícil su tratamiento ya que también puede afectar al cultivo sembrado. Las más comunes son:
- Alpiste (*Phalaris* spp.). La semilla persiste en el suelo. Es una planta de color verde azulado con prefoliación enrollada en vaina abierta y lígula blanca triangular dentada. Se desarrolla en mechones densos pudiendo sobrepasar el metro de altura. La inflorescencia son espigas compactas que se mantienen cerradas en la vaina de la última hoja. Esta muy bien adaptada en la parte Sur del país. Su presencia tiene una repercusión alta en el desarrollo del cultivo, ya que compiten por agua y nutrientes.
 - Avena loca (*Avena* spp.). Planta anual de 30-150 cm. Hojas de 3-8 mm de anchura, pelosas sobre todo en el margen del limbo, lígula de 2-5 mm. Prefoliación enrollada. Espiguillas con 2-3 flores, casi completamente cubiertas por las glumas. Glumas de 18-30 mm, con 5-7(9) nervios. Inflorescencia en panícula. Las flores se separan individualmente una vez maduro el fruto. Aparece en terrenos de secano principalmente. También conocida como Ballueca.

Una vez han aparecido las malas hierbas, hay que actuar por medios directos para eliminarlas. Estos métodos directos de acción pueden ser mecánicamente, utilizando maquinaria para eliminar las hierbas nacidas; o químicamente, para eliminar las semillas o las plantas mediante aplicación de productos herbicidas específicos para cada situación.

Los métodos químicos de acción contra malas hierbas es mediante la utilización de herbicidas; estos se pueden clasificar en herbicidas de hoja ancha, hoja estrecha o amplio espectro y herbicidas de contacto o sistémicos.

2.4.5 Plagas y enfermedades

Los cereales son atacados por un gran número de parásitos, insectos, hongos y virus provocando muchas veces daños importantes. Algunos insectos crean problemas de forma ocasional pero otros aparecen de forma frecuente. Los hongos son causantes de las principales enfermedades criptogámicas y se encuentran casi siempre presentes aunque su nivel de infección depende de la situación en la que se encuentre la planta y su sensibilidad (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

2.4.5.1 Plagas

Se define plaga agrícola a una población de un organismo, generalmente insectos, que causa pérdidas económicas en un cultivo o en su cosecha debido a los daños que les produce.

Existen muchas plagas, pero las más conocidas son:

- Lema (*Oulema Melanopus*): Afecta tanto a trigos como a cebadas; el adulto es un pequeño escarabajo de 4 ó 5 mm con cabeza de color negro azulado y tórax anaranjado. Las larvas tiene aspecto de pequeñas babosas y son las que causan los daños alimentándose se las hojas.
- Zabro (*Zabrus spp.*): Afecta a trigos, cebadas y centenos; el adulto es un escarabajo de 12 a 18 mm de coloración al principio castaño-rojizo y posteriormente negro. La larva escava galerías justo a la planta afectada por donde introduce las hojas de las que se alimenta.
- Garraatillo (*Aelia spp. Y Eurigaster Austriacus*): Afecta tanto a trigos como a cebadas. Son chinches con aparato bucal picador-chupador provistos de dos pares de alas. Causan daños en la espiga produciendo su secado y en el grano disminuyendo su peso específico y deteriorando su calidad.
- Céfidos (*Cephus y Trachelus*): Afecta a trigos cebadas y centenos. Los adultos son parecidos a pequeñas avispas. Las larvas son las que causan los daños haciendo túneles en el tallo y produciendo una falta de savia por lo que los granos no llegan a cuajar ocasionando palidez en la espiga. También realizan unas perforaciones en el tallo en la parte inferior de la espiga, lo que hace que esta se caiga y no pueda ser cosechada, lo que disminuye el rendimiento.

- Anguina Tritici: Afecta a cebadas. La hembra adulta mide de 1,5 a 5 mm de largo, el macho es más corto y mucho más fino. Las plantas de cebada infestadas permanecen raquílicas, las hojas se rizan y gran número de granos quedan sustituidos por bolas negruzcas que constituyen las agallas, en cuyo interior se encuentran las larvas en estado quiescente. En condiciones húmedas, la ausencia de las plantas del anfitrión por un año es suficiente para liberar al suelo de la plaga, pero bajo condiciones de sequia prolongada esta puede seguir siendo viable por muchos años.

También pueden sufrir el ataque de plagas cuando están almacenados, estas son las denominadas plagas de almacén.

2.4.5.2 Enfermedades

Se define como una difusión deletérea para la planta, causada por la interacción continua con un agente patógeno que interfiere con la fotosíntesis o la utilización de nutrientes y agua de manera que la planta afectada cambia en apariencia y produce menos.

En los cereales las principales enfermedades se pueden clasificar según la parte de la planta a la que afecta y pueden ser enfermedades de las plántulas, enfermedades del pie, enfermedades del sistema aéreo y enfermedades que afectan a la espiga.

Las enfermedades que afectan a las plántulas del cereal son provocadas por hongos presentes en el suelo, por especies como **Septoria** y al menos 6 especies de **Fusarium**. La manera de hacer frente a estos problemas es mediante el tratamiento previo de la semilla o el empleo de variedades resistentes.

Los agentes que causan enfermedades que afectan al pie de la planta son un grupo de hongos que se ven favorecidos por los inviernos no muy fríos y húmedos. Entre otras enfermedades podemos citar el **mal de pie** (*Tapesia spp.*), afecta principalmente a trigos. Los síntomas son manchas en forma de ojal en la vainas foliares y base de los tallos.

Entre las enfermedades que afectan al sistema aéreo, podemos encontrar Septoriosis, Oídio, la roya amarilla, roya parda o de las hojas, roya negra, Helmiosporiosis y Rincosporiosis entre otras.

- Septoriosis (*Septoria Tritici*): Afecta principalmente a trigos, sus síntomas son manchas de marrón claro que al final confluyen, se pueden apreciar pequeños puntos negros.
- Oídio (*Blumeria Graminis*): Afecta tanto a trigos como a cebadas. Sus síntomas son manchas blanco-algodonosas que más tarde evolucionan a marrón grisáceas.

- Roya Amarilla (*Puccinia striiformis*): Afecta a trigos y a cebadas. Los síntomas son pústulas alargadas de color amarillo-naranja en líneas paralelas a las nerviaciones de la hoja.
- Roya Parda (*Puccinia spp.*): Afecta a trigos y cebadas. Los síntomas que se pueden apreciar son pústulas de color naranja pardo dispersas por la superficie de las hojas.
- Helmintosporiosis (*Helminthosporium spp.*): Afecta principalmente a cebadas. Sus síntomas son manchas en las hojas de color pardo con una aureola amarillenta.
- Rincosporiosis (*Rhynchosporium secalis*): Afecta principalmente a cebadas. Sus síntomas son manchas en las hojas con forma ovalada de borde oscuro y con el centro gris claro.

El último grupo son enfermedades exclusivas de la espiga como son:

- Fusariosis de espiga (*Fusarium spp.* y *Microdochium nivale*): Afecta a trigos y cebadas. Sus síntomas son machas redondeadas de color claro en las glumas, espigas “blancas” estériles y sin grano.
- Carbón vestido o tizón (*Tilletia spp.*): Afecta a trigos exclusivamente. Cuando las espigas infectadas maduran, las glumas tienden a separarse dejando ver los granos, que están llenos de esporas de color negro y olor maloliente. La cosecha contaminada no es apta para consumo humano ni animal, debiendo destruirse.
- Carbón desnudo (*Ustilago spp.*): Afecta a todos los cereales. La planta afectada en lugar de una espiga normal forma una masa de esporas pulverulentas de color negro.

Hay otro grupo de enfermedades que afectan al cultivo de los cereales y que pueden afectar de diferente manera a las diferentes partes de las plantas es por ello que están fuera de la clasificación anterior y son las enfermedades virales. Entre ellas se encuentran la amarillez enanizante del trigo y los mosaicos del trigo (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

La lucha contra ese tipo de enfermedades no puede apoyarse en un tratamiento químico concreto porque no existe tal . Las maneras de minimizar el riesgo de sufrir este tipo de problema son evitar infecciones, el control de vectores que los pueden transmitir, la utilización de material vegetal sano (semilla certificada) y adecuadas prácticas vegetales.

2.4.6 Cosecha

En los cereales la cosecha se realiza para aprovechar el grano producido por éstos. Si hablamos de la recolección de grano, ésta se realiza entre los meses de mayo y de agosto. El objetivo final es recoger el mayor peso de grano limpio en el menor tiempo posible por lo que hay que determinar con la mayor precisión posible el momento más oportuno para realizar la cosecha. Para ello se debe conocer con exactitud el grado de madurez del grano. En esto influyen varios aspectos, por un lado los factores fisiológicos del desarrollo del embrión y de acumulación de reservas en el grano, y por otro los factores técnicos que incluyen los medios de los que dispone el agricultor para la recolección.

La madurez fisiológica del grano se alcanza cuando su contenido de humedad varía entre el 30% y el 40 %. Diez o quince días después esa humedad se reduce hasta el 20% y es a partir de este porcentaje cuando debemos prepararnos para realizar la cosecha. Sin embargo cosechar pronto o lo que es lo mismo con una humedad mayor o igual a 18 % significa obtener grano húmedo que requerirá un secado o ventilación posterior para su almacenamiento con garantía de conservación. El porcentaje de humedad adecuado se conoce como madurez comercial y se produce cuando la humedad de los granos se sitúa entre el 14 y 15%.

El método de cosecha de trigo y cebada es muy similar, aunque varía en los reglajes de la cosechadora y las fechas. El trigo al ser una variedad más dura hay que realizar reglajes para adecuar la velocidad de cosecha, y ajustar el cóncavo para el grano no sufra roturas que puedan perjudicar su posterior germinación. También el trigo se cosecha más tarde que la cebada ya que es un cultivo que le cuesta más madurar y aguanta mucho la humedad, por lo que hay que esperar que la mies esté bien seca.

2.5 Alteraciones fisiológicas de los cereales

Los cereales, además de enfermedades y ataques de plagas, también pueden sufrir otros problemas por acción del frío, exceso de humedad invernal, altas temperaturas, vientos y exceso de abonado nitrogenado. Las más importantes son el asurado fisiológico y el encamado.

2.5.1 Asurado

Es una deficiencia en el llenado del grano, lo que conlleva poco peso y arrugado. La principal causa del asurado son las altas temperaturas y un bajo nivel de humedad del aire durante varios días, en la fase de llenado de grano del cereal; lo que se conoce comúnmente como golpe de calor. El resultado final del asurado es la pérdida de cosecha. Para evitar este fenómeno, es conveniente la siembra de variedades precoces en zonas en las que el final de la

primavera es cálido. En la zona estudiada el asurado no suele ser un problema de importancia.

2.5.2 Encamado

Es uno de los principales accidentes del periodo reproductivo en los cereales, que puede causar mermas muy importantes en el rendimiento del grano. El encamado se produce a consecuencia del doblamiento, más o menos acentuado, de los entrenudos de la base del tallo, que no pueden soportar el peso del sistema aéreo de la planta (González Torres y Rojo Hernández, 2005). Esta alteración es debida principalmente a la lluvia, el viento, exceso de agua, exceso de nitrógeno, insuficiente insolación de las plantas o agentes parasitarios como el mal de pie.

El encamado produce una reducción de la velocidad de circulación de la savia y también de la fotosíntesis debido a que una parte del aparato foliar esta privado de iluminación directa. Si el encamado no es muy severo las plantas pueden recuperarse y volver a su situación normal.

Para disminuir la posibilidad de encamado se debe evitar aquellos factores que lo pueden originar como son las altas dosis de abono nitrogenado y/o de agua y la excesiva densidad de plantas. Además la elección de variedades de altura más baja también puede influir a la hora de ser más resistente a las condiciones que producen encamado (González Torres y Rojo Hernández, 2005).

En la zona estudiada fenómenos tormentosos con precipitaciones abundantes y vientos fuertes en los últimos meses del ciclo (entre mayo y julio) pueden originar problemas de encamado de cereales, principalmente en avena pero también en cebada y, en menor medida, en trigo. El exceso de abono nitrogenado parece ser un factor clave en la aparición de este fenómeno, siendo más acusado en los bordes de las parcelas, donde debido al giro de los tractores la dosis de abonado aplicada suele ser mayor.

2.6 Situación actual del cultivo

El cultivo de cereales a nivel global se ha incrementado anualmente debido al aumento de la población mundial e incluso se ha convertido en un valor de inversión para la especulación debido a su importancia en la elaboración de alimentos. Los cereales son empleados para la elaboración de alimentos destinados al hombre como cereales de desayuno, panes, etc. y a su vez en la elaboración de piensos destinados a la alimentación animal.

A nivel mundial el mayor productor de cereales es la Unión Europea. Si identificamos específicamente los productores de trigo y cebada comprobamos que en el caso del trigo el mayor productor es la Unión Europea (20%), seguida por China (18%), la India (14%) y Estados Unidos (9%) (Figura 3). En el caso de la cebada la Unión Europea es el primer productor (39%) seguido por Rusia (11%) y Canadá (9%) (figura 4).

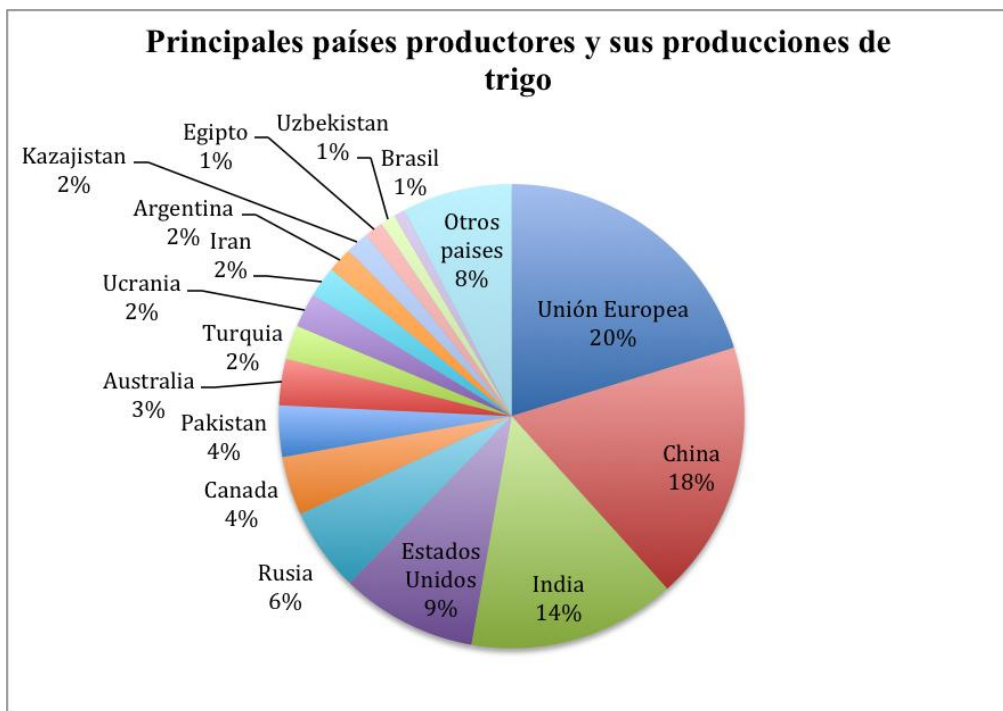


Figura 3: Principales productores mundiales de trigo

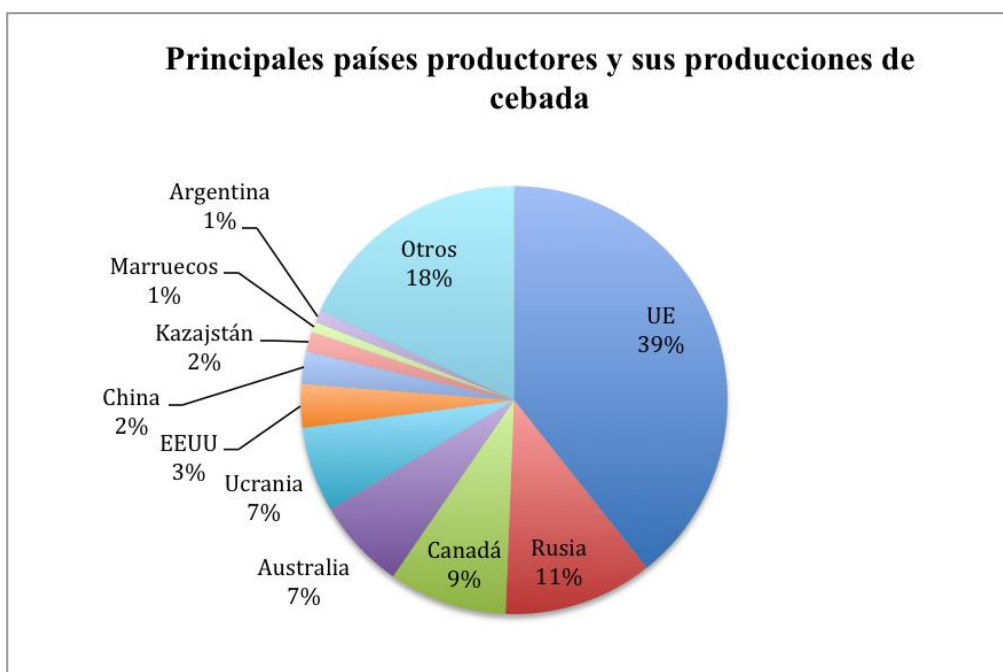


Figura 4: Principales productores mundiales de cebada.

En España, el cultivo de cebada y trigo representan el 81% de la superficie total cultivada mientras que el resto de los principales cultivos representan el 19% restante (MAGRAMA. 2012). A su vez el cultivo en España de trigo duro, trigo blando y cebada de 2 y 6 carreras se realiza principalmente en zonas de secano suponiendo el 74% de la superficie total cultivada para este tipo de cultivos mientras que en zona de regadío solo representa el 7%.

Navarra debido a su climatología proporciona unas buenas condiciones para el cultivo de trigo y cebada, los cuales suponen el 61% de la superficie cultivada con respecto al resto de cultivos de la comunidad que representan el 39% restante (Gobierno de Navarra, 2012). A su vez la evolución histórica de la superficie cultivada se ha incrementado débilmente a lo largo de los últimos seis años lo cual extrapola el patrón mundial anteriormente mencionado.

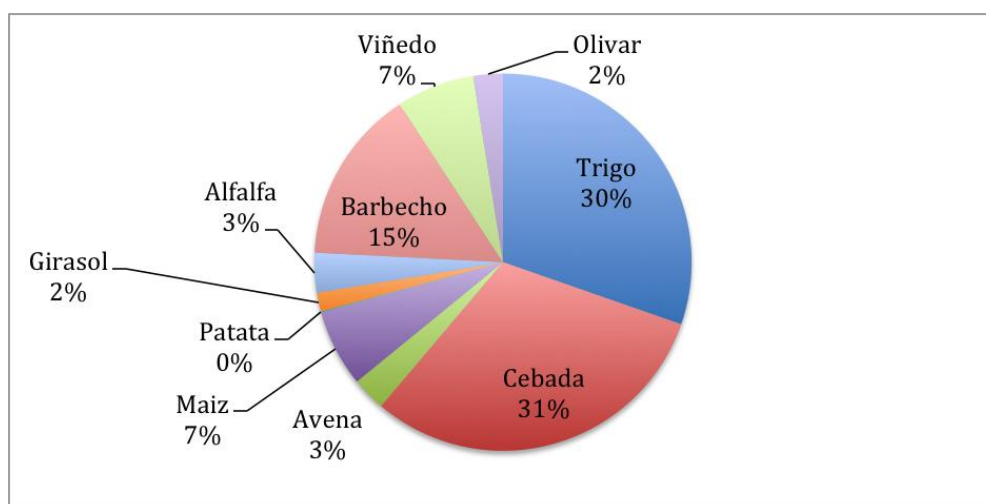


Figura 5: Superficie cultivada en Navarra para los diferentes cultivos entre 2006-2012.

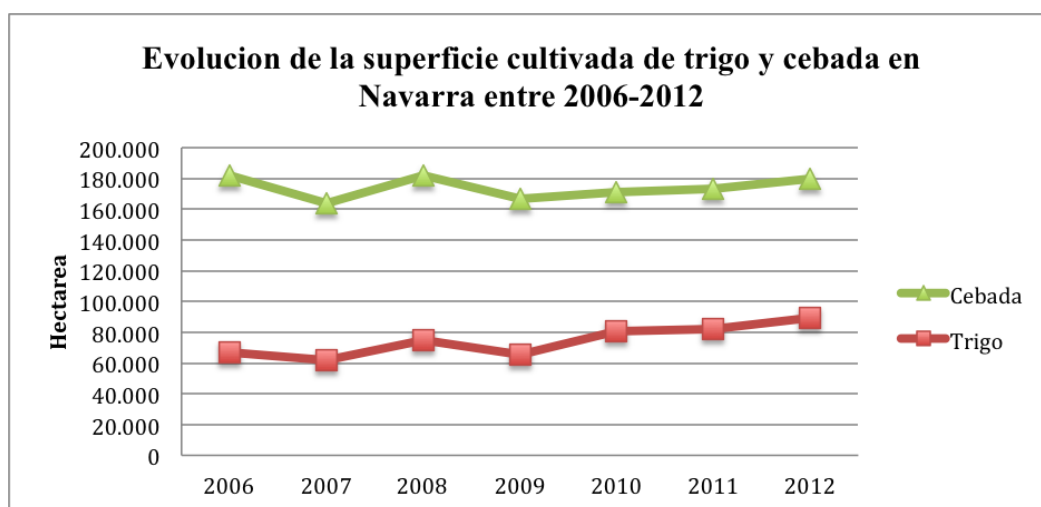


Figura 6: Evolución de la superficie cultivada de trigo y cebada en Navarra entre 2006-2012.

3 Modelo de simulación en cultivos

3.1 Definición

Actualmente, y más aún en la coyuntura económica en la que nos encontramos, la industria agrícola y de otros sectores requiere de estudios previos a la adopción de cambios en sus procesos y funcionamiento, denominados estudios piloto con el fin de predecir las posibles consecuencias de dichos cambios y de este modo reducir costes y riesgos. Los estudios piloto se realizan habitualmente utilizando la técnica llamada modelización, es decir, la construcción y aplicación de modelos matemáticos que simulan el sistema o proceso estudiado, con el fin de obtener conclusiones aplicables al sistema real de forma más rápida y económica.

Tras construir el modelo se realizan ensayos con diferentes hipótesis para determinar los posibles resultados, el proceso de ensayar en él una alternativa se llama simular. El conjunto de alternativas que se definen para su ensayo constituye la estrategia de la simulación (Fiuba. 2013). Uno de los objetivos de la simulación es realizar ensayos de cambios en el sistema probándolos en el modelo, con el fin de elegir la mejor alternativa. La simulación ofrece, sobre bases ciertas, la predicción del futuro condicionada a supuestos previos. Para ello se construyen los modelos, normalmente una simplificación de la realidad los cuales surgen de un análisis de todas las variables intervinientes en el sistema y de las relaciones existentes entre ellas.(ILRI, 2011)

La simulación se emplea sólo cuando no existe otra técnica que permita encarar la resolución de un problema. Siempre es preferible emplear una alternativa analítica antes que simular. Lo cual no implica que una opción sea superior a otra, sino que los campos de acción no son los mismos. Mediante la simulación se han podido estudiar problemas y alcanzar soluciones que de otra manera hubieran resultado inaccesibles.

En el modelo se hace una abstracción de la realidad, representándose el sistema de forma simplificada. El modelo que se construye debe tener en cuenta todos los detalles que interesan en el estudio para que represente al sistema real con la mayor fiabilidad posible. Por razones de simplicidad deben eliminarse aquellos detalles que no interesan y que lo complicarían innecesariamente. A medida que avanza el estudio del sistema se incrementa el entendimiento que el analista tiene del modelo y ayuda a crear modelos más cercanos a la realidad.

3.2 Clasificación de los modelos

Los modelos se pueden clasificar según diferentes aspectos. En cuanto al tipo de variables que se simulan, se puede hablar de modelos discretos y continuos o de modelos

estáticos y dinámicos, según simulen variables que varían en el tiempo o no. También en función de que incorporen o no variables aleatorias se puede hablar de modelos estocásticos o determinísticos. Los primeros incorporan en mayor o menor grado cierta aleatoriedad lo que hace que sus predicciones generalmente sean de tipo probabilístico, mientras que los determinísticos proporcionan invariablemente una misma respuesta para un mismo conjunto de variables de entrada. En función de las relaciones entre las variables estudiadas se puede hablar de modelos empíricos y modelos de base física (también llamados teóricos o mecanísticos). Los modelos empíricos establecen relaciones estadísticas (por ejemplo mediante regresiones) entre las variables de un sistema observadas directamente mediante experimentación. Por otro lado, los modelos teóricos describen matemáticamente los procesos o mecanismos que dan lugar al fenómeno.

3.3 Fases de la simulación

La simulación tiene como principal objetivo la predicción, es decir, puede mostrar lo que sucederá en un sistema real cuando se realicen determinados cambios bajo determinadas condiciones, llamadas hipótesis. Las fases que comprende el estudio de simulación son (Fiuba, 2013) :

- 1) Definición del sistema con el máximo de detalle
- 2) Elección del método para realizar el estudio
- 3) Variables a incluir en el modelo
- 4) Recolección y análisis de los datos del sistema
- 5) Definición de la estructura del modelo
- 6) Programación del modelo Objetivo
- 7) Validación del modelo

3.4 Ventajas de la simulación

- ✓ Permite adquirir información sobre un proceso o fenómeno con bajo coste y sin riesgo, ya que se elimina, o reduce mucho, la fase de experimentación.
- ✓ Permite identificar elementos problemáticos en un sistema y buscar alternativas a éstos.
- ✓ Puede ser aplicada para diseño de sistemas nuevos o para comparar alternativas muy diversas surgidas de utilización de diferentes tecnologías. Puede utilizarse, durante la vida de un sistema, para probar modificaciones antes que estas se implementen.

3.5 Desventajas de la simulación

- ⌘ Los datos obtenidos en la simulación pueden no ser los correctos, llevándonos a cometer decisiones erróneas. Por eso es importante la fase de validación.
- ⌘ Se pueden cometer errores al introducir los datos iniciales en el programa.
- ⌘ Existen limitaciones en la simulación del modelo.

3.6 Modelización agronómica

Los modelos de simulación de la producción de cultivos se tratan de modelos matemáticos que emplean ecuaciones construidas a partir de la teoría biofísica (modelos teóricos) y/o de resultados experimentales (empíricos) que finalmente son validadas por ensayos experimentales. Los modelos de simulación de cultivos agrícolas se emplean para predecir el rendimiento de los cultivos, el crecimiento y desarrollo de las plantas, y la dinámica de la humedad y otros nutrientes. Simulan la dinámica del crecimiento por medio de la integración numérica de los procesos constituyentes con la ayuda de programas informáticos que describen la dinámica del crecimiento del cultivo en relación con el ambiente, operando en tramos temporales y en un orden de magnitud por debajo de la estación del crecimiento, y con la capacidad de obtener variables que describen el estado del cultivo en diferentes puntos del tiempo (Naivy Hernández.2009).

En el campo agronómico se emplean tanto modelos de base física (mecanísticos) como empíricos. Los primeros, tal y como ya se ha mencionado, se basan en el estudio de las relaciones biológicas para describir el comportamiento de un sistema. Mientras que los modelos empíricos describen relaciones matemáticas a partir de los datos obtenidos experimentalmente, para describir de un modo simplificado el comportamiento de un cultivo. El modelo empírico tiene una validez limitada debido a que estrictamente sólo es aplicable a condiciones similares a las del experimento original, y a que sus ecuaciones empíricas a menudo no tienen un significado biológico.

La mayoría de los simuladores de crecimiento de cultivos emplean modelos mecanísticos los cuales describen el comportamiento del sistema partiendo de información de entrada estática (cultivo, variedad, suelo...) y dinámica (meteorología y manejo), consiguiendo simular importantes procesos físicos, químicos o biológicos, y describir cómo y porqué resulta una respuesta en particular. Los modelos mecanísticos están compuestos por modelos estáticos dinámicos simulando variables que no se modifican en el tiempo y, por tanto, se conoce su valor final pero no su evolución (como la producción total o la cantidad de nitrógeno absorbida). Los modelos dinámicos describen el modo en el cual el sistema cambia en el tiempo y, por lo tanto, es posible seguir la evolución temporal de cada una de las variables del sistema como la biomasa del cultivo o el balance de nitrógeno en el suelo (Jones et al., 2003). Los modelos determinísticos atribuyen un solo valor a cada variable del sistema haciendo predicciones para cantidades como la producción de la cosecha pero sin ninguna distribución probabilística asociada, varianza o elemento aleatorio. En los sistemas

biológicos y agrícolas son normales las variaciones, debido a imprecisiones en los datos recogidos y la heterogeneidad del material con el que se trabaja (V. Radha Krishna Murthy. ANGR. 2013). En algunos casos, los modelos determinísticos pueden ser adecuados a pesar de estas variaciones inherentes, pero en otros pueden resultar insatisfactorios (como en la predicción de lluvia, por ejemplo). Cuanto mayor sea la incertidumbre del sistema, más inadecuados se vuelven los modelos determinísticos.

Algunos de los modelos de simulación de cultivos más conocidos son:

3.6.1 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)

DSSAT se trata de un programa informático de simulación de cultivos empleado para la toma de decisiones en la transferencia de la agro-tecnología. Durante los últimos 15 años se ha empleado por investigadores de todo el mundo, y se considera una de las herramientas de simulación más completa y fiable (Jones et al., 2003). DSSAT incorpora módulos de 27 cultivos y herramientas que facilitan la creación de archivos que simulan nuevos escenarios en cuanto a manejo de cultivo, suelo y clima. La versión 4 incluye módulos para el análisis estacional, el cálculo de riesgos económicos, e impactos ambientales asociados al manejo del riego, la fertilización, el cambio climático, la fijación de carbono por el suelo y el manejo de precisión.

Los procesos principales que el modelo incluye son el desarrollo fenológico (que simula la duración del crecimiento, la etapa vegetativa y reproductiva), la raíz y la dinámica de las hojas en relación con la radiación fotosintéticamente activa y la acumulación de materia seca, y la senescencia. Además incorpora subrutinas para la simulación del contenido de agua del suelo, la evaporación del agua del suelo, transpiración del cultivo, el drenaje de las aguas subterráneas, el impacto del estrés hídrico sobre el rendimiento de los cultivos y el comportamiento del cultivo etapa por etapa en casi cualquier combinación de los sistemas de cultivo, permitiendo realizar preguntas del tipo "¿Qué pasaría si?" y simular hipótesis que en el campo tardarían años en analizarse.

DSSAT es un conjunto de programas independientes que funcionan unidos. El modelo funciona con un paso de tiempo diario, requiriendo datos diarios de las variables meteorológicas y datos estáticos del suelo, así como de los parámetros genéticos de los cultivos (cultivares) y las prácticas de manejo. Los datos meteorológicos diarios incluyen la radiación solar (SRAD), la temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) y la precipitación. Los datos sobre suelos deben incluir la textura del suelo, profundidad de la capa del suelo, densidad aparente, contenido de carbono orgánico, pH, arcilla, limo y la fracción de arena y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), obtenidos todos ellos por experimentación. El manejo del cultivo DSSAT incluye la siembra (siembra fecha, profundidad, método y espacio), riego (riego por fecha, cantidad, modo y profundidad) y la fertilización (fecha de la fertilización, la profundidad y la cantidad).

El software ayuda a los usuarios a preparar bases de datos y comparar resultados simulados con las observaciones reales, validando posteriormente los resultados. DSSAT permite simular las opciones para el manejo del cultivo en un determinado número

de años, ya que se basa en los datos que se introducen y se pueden tomar series de años anteriores para generar información futura.

Este método es interesante de cara al agricultor o empresas de semillas ya que teniendo un previo conocimiento de cómo va a ser la producción total de cada parcela según sea el clima ese año, el agricultor podrá elegir si trata o abona de una manera o con unos productos u otros y las empresas de semillas podrán ir fijando los precios de las semillas según prevean la oferta y demanda basándose en la producción que vaya a haber de cada variedad.

3.6.2 CropSyst

CropSyst es un modelo de cultivo de simulación diaria desarrollado en la Washington State University (EEUU) para servir como herramienta para el análisis del efecto del clima, los suelos y la gestión de los sistemas de cultivo en la productividad y el medio ambiente (Stockle and Nelson, 2013). CropSyst permite simular el balance de agua, balance del nitrógeno, el desarrollo de la cobertura del cultivo, el desarrollo radicular, la producción de la materia seca, la producción de residuos su descomposición y la erosión del suelo. El desarrollo de CropSyst comenzó a principios de 1990, incluyendo un simulador de sistemas de cultivo (CropSyst), un generador de tiempo (ClimGen), SIG-CropSyst (ArcCS), un modelo de cuenca (CropSyst Cuenca), y varios programas de utilidades varias.

La característica mas destacada en la simulación de cultivos con CropSyst es que permite simular varios cultivos anuales y plurianuales y su rotación a través de un único conjunto de parámetros. Las simulaciones pueden durar una fracción de un año a cientos de años para evaluar sus efectos. El modelo ha sido validado en muchos lugares del mundo mediante la comparación de las estimaciones del modelo a los datos recogidos experimentalmente en campo.

3.6.3 STICS (Simulateur mulTidisciplinaire pour les Cultures Standard)

STICS es un modelo de simulación de cultivos con una simulación espacial de paso diario, desarrollado desde el año 1996 en el INRA (Francia) y que destaca por su adaptabilidad a diversos cultivos. La simulación se basa en la caracterización del clima, el suelo, las variedades de cultivo y el manejo para calcular las variables de salida del modelo relacionadas con el cultivo como son la producción y rendimiento del cultivo así como con el medio ambiente como el drenaje y la lixiviación del nitrato y la evolución de las propiedades del suelo bajo el cultivo.

4 Objetivo

El objetivo del presente trabajo fin de carrera es realizar una evaluación preliminar del funcionamiento del programa de simulación DSSAT, utilizando para ello una serie de medidas de campo tomadas en la campaña de 2012 en diez parcelas de cereal de la zona de Urroz Villa (Navarra). Con este fin se han preparado los datos de entrada del modelo (características edáficas, series meteorológicas y datos de manejo del cultivo), se ha ejecutado y se han evaluado sus simulaciones en cuanto a la humedad del suelo, fenología del cultivo, biomasa y producción de grano. Finalmente los resultados obtenidos con el modelo DSSAT han sido validados comparándolos con los datos reales obtenidos en campo. Al representar la primera aplicación del modelo DSSAT en la Universidad Pública de Navarra, la intención de este trabajo no es otra que realizar una pequeña aportación que permita profundizar en este ámbito en el futuro.

5 Material y método

5.1 Descripción del ensayo

5.1.1 Aspectos relacionados con el emplazamiento del ensayo

Localización

El ensayo se ha llevado a cabo en diez parcelas diferentes situadas en los municipios de Egüés, Lizoáin y Lónguida. Estos municipios se encuentran situados a unos 25 km al este de la ciudad de Pamplona, la capital de la Comunidad Foral de Navarra.

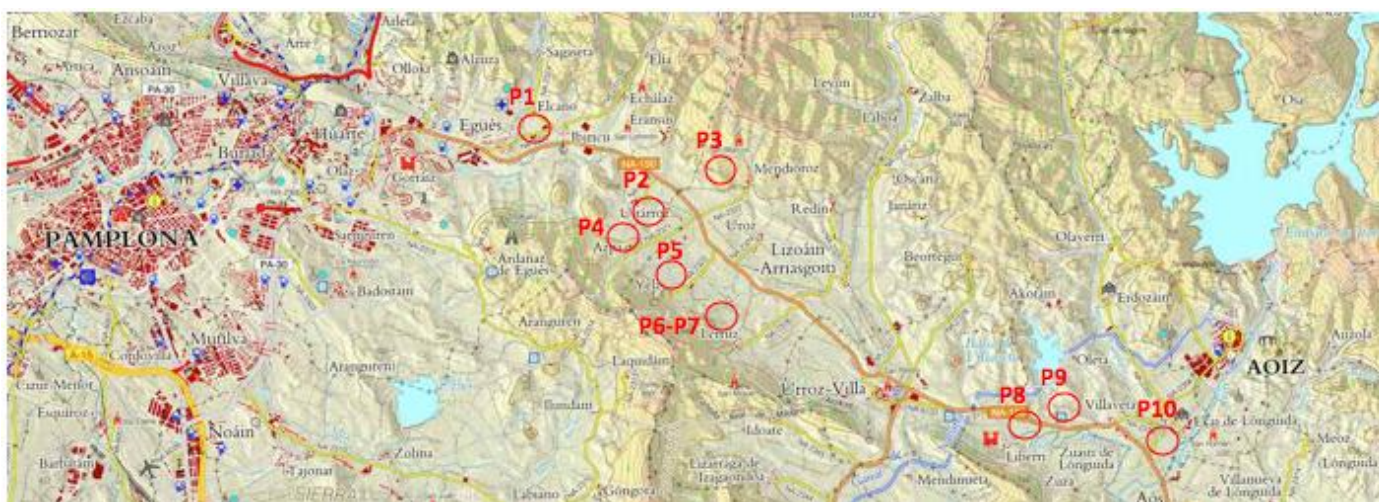


Figura 7. Localización de las parcelas

Estas localidades tienen una altitud media de 520m sobre el nivel del mar, en la cual el cultivo de cereal en secano se da bien.

Se puede observar que cada una de estas parcelas está emplazada en un municipio y con unas diferencias catastrales diferentes. A continuación se detalla una tabla resumen con la información básica de cada una de las parcelas.

Parcela	Municipio	Referencia catastral Mun-Pol-Parc-Rec	Superficie	Cultivo	Variedad
P1	Egüés	86 – 8 – 122 – 1	2,85	Trigo Blando	Bokaro
P2	Lizoáin	156 – 1 – 111 – 1	6,69	Cebada	Meseta
P3	Egüés	86 – 4 – 7 – 4	3,01	Cebada	Meseta
P4	Egüés	86 – 5 – 30 – 1	5,89	Trigo Blando	García
P5	Lizoáin	156 – 2 – 66 – 1	2,48	Cebada	Meseta
P6	Lizoáin	156 – 4 – 55 – 1	4,7	Trigo Blando	Camargo
P7	Lizoáin	156 – 4 – 59	5,46	Cebada	Opal
P8	Lónguida	158 – 18 – 21 – 1	23,77	Cebada	Meseta
P9	Lónguida	158 – 19 – 107 – 1	6,89	Trigo Blando	Berdún
P10	Lónguida	158 – 20 – 76	6,6	Trigo Blando	Berdún

Tabla 1. Información básica de las parcelas.

La descripción detallada de todas las parcelas se encuentra recogida en el anejo 1.

Aspectos climáticos

El clima en la ubicación de las parcelas es de tipo Mediterráneo templado húmedo según clasificación climática de Papadakis. Se trata de un clima templado con veranos con temperaturas promedio de las máximas medias de los 6 meses más cálidos superior a 21°C y la media de las mínimas absolutas superior a 2°C durante más de 4 meses y superior a 7°C durante menos de 3 meses y la máxima media del mes más cálido inferior a 25°C correspondiente a Agosto. Los inviernos tienen de media de las temperaturas mínimas absolutas del mes más frío superior a -10°C pero inferior a -2.5°C. El régimen hídrico produce un excedente estacional de lluvia menor del 25% de la evapotranspiración potencial. La precipitación media anual está en torno a los 900 mm, siendo los meses de mayor pluviosidad diciembre y enero. Se observa una distribución bastante homogénea de las precipitaciones a lo largo de todo el año salvo de dos meses secos, Julio y Agosto.

Los datos meteorológicos utilizados en este trabajo han sido obtenidos de la estación meteorológica de Beortegi que fue instalada el 01/01/1998 y es propiedad del Gobierno de Navarra. Dicha estación se encuentra próxima a las parcelas estudiadas, a una altitud de 580 m, y cuenta con datos de precipitación, temperatura, radiación solar y velocidad de viento, necesarios para este trabajo.

Condiciones edáficas

Para conocer el tipo de suelo de las parcelas estudiadas, se han tomado datos de calicatas cercanas a éstas, realizadas por el departamento de suelos del Gobierno de Navarra. Por lo general el primer horizonte en todos los suelos de las parcelas simuladas presenta una textura arcillosa o franco arcillosa con un porcentaje de elementos gruesos no superior al 30%. En el segundo horizonte aumentan los elementos gruesos hasta en un 70%, presentándose así el suelo poros intersticiales finos.

En la siguiente tabla se detallan las características más significativas de cada una de las calicatas tomadas como muestra para cada una de las parcelas.

Calicata/Perfil	Parcela	Tipo de suelo	Profundidad (cm)	Textura horizonte A	Pedregosidad superficial
Egüés 9	P01	Typic Calcixerept	140	Franco arcillosa	25%
Lizoáin 11	P02	Fluventic Haploxerept	170	Arcillosa	2%
Lizoáin 10	P03	Typic Calcixerept	80	Arcillosa	5%
Lizoáin 21	P04	Typic Calcixerept	155	Franco arcillosa	15%
Lizoáin 12	P05	Fluventic Haploxerept	170	Franco arcillosa	10%
Lizoáin 18	P06	Fluventic Haploxerept	160	Arcillo limosa	5 – 10%
Lizoáin 10	P07	Typic Calcixerept	110	Franco arcillosa	15%
Lónguida 4	P08, P09, P10	Fluventic Haploxerept	170	Franca	10%

Los datos de las calicatas representativos de todas las parcelas se encuentran recogidos en el anejo 2 correspondiente al estudio edafológico de las parcelas.

5.1.2 Material vegetal

La simulación del cultivo se ha realizado a partir de 5 parcelas cultivadas de trigo de las variedades Berdún, Bokaro, Camargo y García. Además de 5 parcelas cultivadas de cebada con las variedades Meseta y Opal. A continuación se describen éstas variedades (GENVCE, 2013).

5.1.2.1 Variedades de trigo

Berdún

Es un trigo blando de ciclo invernal similar a Marius y con buen potencial productivo. Presenta una gran rusticidad, una talla corta, buena tolerancia al encamado, y suele tolerar bien las enfermedades, con excepción de la roya parda. Su espiga es blanca con ausencia de barbas. Tiene una elevada capacidad de ahijamiento, buen peso específico y grano pequeño. Las fechas de siembra son similares a las de Marius, aunque se puede sembrar algo antes, desde finales de Octubre. Su madurez es media a precoz al igual que Marius. La dosis de semilla es de 400 semillas/m² en condiciones normales. Está cada vez más extendido llegando a ser preferido frente a Marius o Soissons al ser interesante por su productividad y sobre todo por su calidad. Es un trigo muy demandado por la industria harinera debido a su calidad. Hasta el año 2006 la superficie cultivada en Navarra aumentaba anualmente, aunque a partir del 2006 ha ido decreciendo ligeramente e incrementándose el cultivo de otras variedades como Nogal. Con todo, sigue siendo la variedad preponderante, en la campaña de 2009-2010 ocupaba el 76% de la superficie sembrada de trigo blando en Navarra (ITGA, 2010). Berdún es la variedad de trigo recomendada para todo el Valle del Ebro así como para Castilla León y Castilla la Mancha.



Figura 8. Trigo blando Berdún. P09 – P10. 5 jun 2012

Bokaro

Es un trigo blando de invierno. La espiga presenta barbas sin vellosidad y es de color claro en la maduración. Su fecha de encañado es media a tardía, sin embargo la fecha de maduración es bastante precoz. Normalmente no presenta problemas importantes de

encamado, debido en parte, a su talla media-baja. Presenta un elevado potencial de producción habiendo superado la media de Marius y Soissons. Ha mostrado una buena adaptación a la mayoría de las zonas de cultivo, tanto en los secanos áridos como en los húmedos, aunque en estas zonas su producción suele ser menor. La siembra se realiza a finales de octubre o principios de noviembre. La dosis de siembra es de 400 a 450 semillas/m², variando ésta según la fecha de siembra. Presenta una susceptibilidad media a las principales enfermedades foliares.



Figura 9. Trigo blando Bokaro. P01. 5 jun 2012

Camargo

Es una variedad de trigo blando de ciclo invernal que presenta espigas mochas. Tiene un ciclo medio a precoz tanto en inicio de encañado como madurez. Se caracteriza por su elevado potencial productivo llegando a superar en un 15-16% a Marius y Soissons, la capacidad de ahijamiento es media-alta. Presenta una talla media a baja, siendo bastante resistente a encamado. Muestra una buena sanidad, si bien presenta una cierta susceptibilidad a septoria. La siembra se realiza a finales de Octubre pudiendo alargarse hasta principios de noviembre y la dosis es de 400 semillas/m².



Figura 10. Trigo blando Camargo. P06. 5 jun 2012

García

Es un trigo blando de invierno, sin aristas y de ciclo medio - largo adecuado para siembras de octubre y noviembre. Su inicio de encañado es medio- largo y su madurez media. Se trata de una variedad de trigo mocha, con una planta de altura media a baja, bastante resistente al encamado. Destaca por su gran productividad, superior a los testigos Marius y Soissons, mejorando su comportamiento en zonas frías. A pesar de su gran productividad, su peso específico es bajo. Muestra una buena adaptación en todas las zonas de cultivo. Presenta un peso específico medio a bajo. Es susceptible a las enfermedades foliares más habituales (oídio, septoria y roya parda), los ataques severos de éstas pueden condicionar sus rendimientos, por lo que puede ser recomendable realizar tratamientos fungicidas específicos. La dosis de siembra oscila entorno a las 400-500 semillas/m².



Figura 11. Trigo blando García. P04. 5 jun 2012

5.1.2.2 Variedades de cebada

Opal

Es una variedad de ciclo medio, rustica y al mismo tiempo muy productiva. Opal es la variedad mejor adaptada a condiciones lluviosas. La fecha de siembra va desde final de octubre a mediados de noviembre. Presenta un excelente comportamiento frente a enfermedades como *Rhynchosporium*, *Helminthosp.* y Oídio. Es una de las pocas cebadas de invierno empleada por maltería ya que presenta una calidad maltera contrastada. Es un grano con elevado peso específico y buen calibre.



Figura 12. Cebada Opal. P07. 5 jun 2012

Meseta

Variedad de cebada de invierno de ciclo largo que destaca por su elevado potencial de rendimiento en la mayoría de las zonas, principalmente las más productivas. Tiene una espiga de dos carreras, Presenta una fecha de espigado media, más tardía que Hispanic y más precoz que Sunrise. Es de talla baja, con una capacidad de ahijamiento bastante elevada y con un comportamiento medianamente resistente frente al encamado. Muestra una resistencia media a la mayoría de las enfermedades foliares. La fecha de siembra va desde principios de octubre hasta principios de noviembre, pero es aconsejable una siembra tardía.

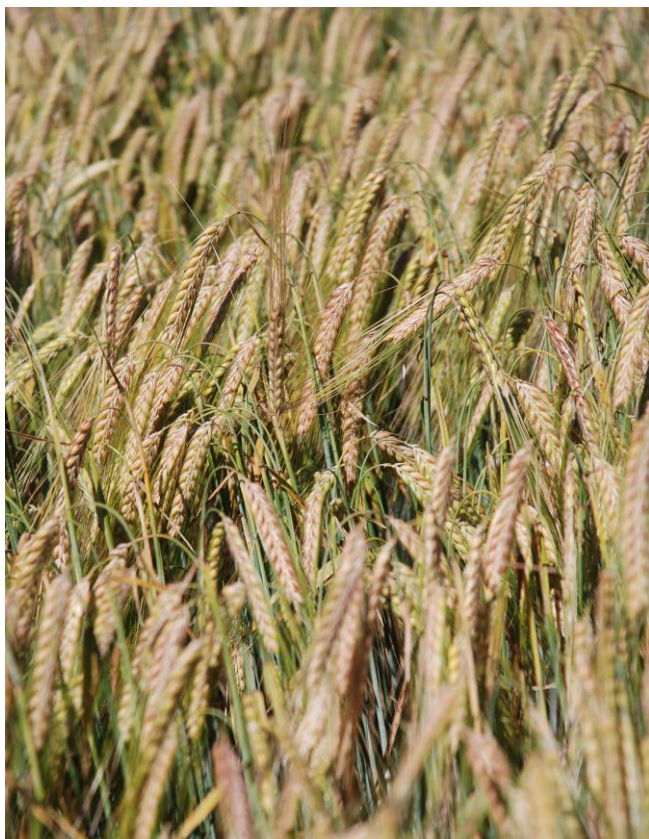


Figura 13. Cebada Meseta. P02, P03, P05, P08. 5 jun 2012

5.1.3 Manejo del cultivo

Las parcelas objeto de estudio no han sido sembradas con siembra directa, sino que se han manejado de modo más tradicional. Por ello, en general, lo primero que se ha realizado es una labor previa de preparación del terreno con el arado y una grada rotativa hacia septiembre; en algunos casos seguida de un abonado de fondo previo a la siembra de la especie y variedad seleccionada para cada una de las parcelas en el mes de octubre; tras la siembra se pasa el molón para fijar bien la semilla a la tierra. Los meses restantes hasta la cosecha en finales de junio o principios de julio, se realizan los tratamientos herbicidas, fungicidas y abonados necesarios en cada caso. El manejo del cultivo ha sido diferente en cada parcela, ya que cada una pertenecía a un agricultor. Por ello se detalla el manejo de cada parcela por separado.

Parcelas de cebada:

Variedad Opal

PARCELA N° 7			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
Agosto	Vertedera		
Octubre	Rotativa		
19/10/11	Siembra	Opal	
Octubre	Abonado	Super 45%	180 Kg/Ha
Noviembre	Herbicida	Splendor+Isoproturon+Mohican	1,2 + 3,5 + 250
06/03/12	Abonado	Urea 46%	
27/06/12	Cosecha		

Tabla 2. Manejo parcela N° 7

Variedad Meseta

PARCELA N° 2			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
09/09/11	Labrar		
17/09/11	Rastrón y molón		
23/09/11	Abonado	Super 45	143 Kg/Ha
13/10/11	Rastrón y molón		
14/10/11	Sembrar	Meseta	198 Kg/Ha
14/10/11	Molón		
25/11/11	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
14/01/12	Abonado	Urea+Sulfato	198 Kg/Ha
13/03/12	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
16/03/12	Abonado	Ureasulfato	176 Kg/Ha
25/06/12	Cosecha		

Tabla 3. Manejo parcela N° 2

PARCELA Nº 3			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
16/07/11	Labrar		
17/07/11	Grada rotativa		
16/10/11	Sembrar	Meseta	17 Kg/Ha
16/10/11	Molón		
28/11/11	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
15/01/12	Abonado	Ureasulfato	220 Kg/Ha
16/03/12	Abonado	Ureasulfato	220 Kg/Ha
17/03/12	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
25/06/12	Cosechar		

Tabla 4. Manejo parcela Nº 3

PARCELA Nº 5			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
18/10/11	Labrar + Siembra	Meseta	198 Kg/Ha
17/01/12	Abonado	Urea mezcla	275 Kg/Ha
18/01/12	Herbicida	Javelo	2 L/Ha
02/02/12	Herbicida	Javelo	2 L/Ha
02/03/12	Abonado	Urea mezcla	275 Kg/Ha
29/06/12	Cosecha		

Tabla 5. Manejo parcela Nº 5

PARCELA Nº 8			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
3ª semana Julio	Enfardar		
4ª semana Agosto	Arar		
1ª semana Octubre	Grada rotativa		
09/10/11	Abonado de fondo	Super 45%	170 Kg/Ha
19/10/11	Grada rotativa		
21/10/11	Siembra	Meseta	234 Kg/Ha
22/11/11	Insecticida	Exal	2 L/Ha
11/01/12	Abonado	Ureasulfato	200 Kg/Ha
02/03/12	Herbicida	Axial + Adigor	0,6 + 1,2 L/Ha
24/03/12	Abonado	Urea	200 Kg/Ha
27/06/12	Cosecha		

Tabla 6. Manejo parcela Nº 8

Parcelas cultivadas con Trigo Blando:

Variedad Bokaro

PARCELA Nº 1			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
05/08/11	Labrar		
08/09/11	Grada Rotativa		
21/09/11	Abonado	Super 45	165 Kg/Ha
19/10/11	Sembrar	T.B. Bokaro	225,5 Kg/Ha
19/10/11	Molón		
28/11/11	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
10/01/12	Urea	38-18	330 Kg/Ha
29/02/12	Urea	41-12	352 Kg/Ha
10/03/12	Herbicida + Mojante	Axial + Adigor	0,6 + 1 L/Ha
24/04/12	Fungicida	Mystic	1,25 L/Ha
13/05/12	Fungicida	Escolta	0,33 L/Ha
05/07/12	Cosecha		

Tabla 7. Manejo parcela Nº 1

Variedad García

PARCELA Nº 4			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
02/09/11	Labrar		
05/09/11	Rastrón		
26/09/11	Abonado	S.45% + 7-10-6	165 + 165 Kg/Ha
22/10/11	Sembrar	T.B. García	
01/12/12	Herbicida	Arelar + Pearl	4 L/Ha + 20 g/Ha
11/01/12	Abonado	U.Sulfato	280 Kg/Ha
13/03/12	Abonado	U.Sulafito	245 Kg/Ha
27/03/12	Herbicida	Axial	0,50 L/Ha
07/05/12	Fungicida	Escolta	0,25 L/Ha
22/07/12	Cosechar		

Tabla 8. Manejo parcela Nº 4

Variedad Camargo

PARCELA N° 6			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
Agosto	Empacar		
Septiembre	Labrar		
Septiembre	Grada rotativa		
Octubre	Grada rotativa		
22/10/11	Sembrar	T.B. Camargo	200 Kg/Ha
Octubre	Molón		
Diciembre	Herbicida	Atlantis	500 g/Ha
Diciembre	Herbicida	Yard	1 L/Ha
Enero	Abono	Ureasulfato	250 Kg/Ha
Marzo	Abono	Urea	270 Kg/Ha
21/07/12	Cosecha		

Tabla 9. Manejo parcela N° 6

Variedad Berdún

PARCELA N° 9			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
Septiembre	Labrar		
Septiembre	Rastón		
Noviembre	Abonado	07/10/06	200 Kg/Ha
18/11/11	Siembra	T.B. Berdún	230 Kg/Ha
Diciembre	Herbicida	Javelo	3 L/Ha
18/01/12	Abonado	Ureasulfato	210 Kg/Ha
12/03/12	Abonado	Urea	293 Kg/Ha
13/03/12	Herbicida	Axial + Adigor	0,6 L/Ha
18/05/12	Fungicida	Escolta	0,33 L/Ha
12/07/12	Cosecha		

Tabla 10. Manejo parcela N° 9

PARCELA N° 10			
Fecha	Labor	Producto	Cantidad
Agosto	Empacar		
Agosto	Labrar		
Agosto	Zaranda		
07/10/11	Abonado		200 Kg/Ha
21/11/11	Siembra	T.B. Berdún	220 Kg/Ha
17/01/12	Abonado	Ureasulfato	210 Kg/Ha
07/03/12	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
13/03/12	Abonado	Urea 46%	260 Kg/Ha
09/07/12	Cosecha		

Tabla 11. Manejo parcela N° 10

Las dosis aportadas tanto de abono como se fitosanitarios, van a ser comparadas con las dosis establecidas en el Anejo 5, siendo éstas las indicadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2013).

A continuación se detallan las Unidades Fertilizantes en Kg/Ha de Nitrógeno, Fósforo y Potasio que se han aplicado en casa parcela.

		Cebada					Trigo				
		P7	P2	P3	P5	P8	P1	P4	P6	P9	P10
Fondo	N				104,5			11,5		14	14
	P	80	64,35		52,8	76,5	74,25	90,2		20	20
	K							9,84		12	12
Cobertera	N	166,4	142	167,2	104,5	168	313,7	200	219,2	214,5	200
	P	42,2	71,8	84,5	52,8	38,4		100	48	40,3	40,3
	K										

Tabla 12. UF en Kg/Ha de N, P, K aplicado en cada parcela

En un suelo bien provisto y para mantener a un nivel satisfactorio, se pueden aplicar de 70 a 90 UF de P y K. Sería conveniente una aplicación en cobertera de P_2O_5 en el ahijado mezclado con nitrógeno para activar el enraizado y ahijado del cereal.

La dosis de nitrógeno a utilizar depende de numerosos factores, tales como: pluviometría invernal, estado del cereal a la salida del invierno, especies y variedades utilizadas y recedentes culturales (Andre Gros, 1992).

En la cebada, de forma aproximada, puede adoptarse como abonado el mismo del trigo, reduciendo unas 25 unidades (Andre Gros, 1992).

En la zona media de Navarra, donde los secanos son frescos y húmedos, hay una pluviometría muy favorable y se obtienen rendimientos buenos, unas dosis recomendadas de abonado serían: N – P – K → 120 – 90 – 45 Unidades Fertilizantes (Andre Gros, 1992).

En cuando al **abonado de fondo** en las parcelas, se observan diferencias. La parcela 4 sembrada con Trigo blando García, presenta un excesivo abonado de fondo con Súper 45% y 7-10-6 con 165 kg/ha de cada uno ya que con 200 kg/ha de uno de ellos estaría cubierta la necesidad. Las parcelas 9 y 10 presentan un abonado correcto, mientras que en el resto de parcelas es algo deficitario.

El abonado de cobertera en general se encuentra bien dosificado, pudiendo observar que las parcelas que presentaban un abonado de fondo más escaso han suplido esto abonando con más dosis de cobertera.

Así mismo destacar que las parcelas 9 y 10 que presentaban un abonado de fondo igual, el de cobertera difiere, siendo superior el de la 9 y algo escaso la de la 10, ya que presenta una única aplicación, lo cual puede haber interferido en la producción.

También se han realizado tratamientos fúngicos e insecticidas en algunas de las parcelas. En la parcela 1 se ha utilizado Mystic a una dosis de 1,25 l/ha, lo cual sobrepasa el límite marcado por el Magrama que está marcado en límite en 1l/ha. Las Parcelas 1, 4 y 9 han sido tratadas con escolta a unas dosis entre 0,25 y 0,33 l/ha lo cual entra dentro de los límites y está autorizado para ambos cultivos. Estos dos productos mencionados, presentan un plazo de seguridad de 35 días, es decir, desde que se aplica hasta la cosecha del cereal ha debido pasar como mínimo este tiempo y en todos casos lo ha pasado correctamente. También se ha aplicado un insecticida contra zabro, un escarabajo típico en cereales cuando están comenzando el desarrollo y su aplicación ha sido el 22/11/2011.

Los herbicidas aplicados cumplen todos las dosis permitidas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a excepción de las parcelas 1,2 y 3 tratadas con Javelo a una dosis de 4 l/ha, lo cual sobrepasa la dosis permitida que es 3 l/ha.

5.1.4 Planificación temporal de la toma de datos

Para la utilización del modelo de simulación DSSAT son necesarios únicamente una serie de datos climatológicos de manejo y edáficos de entrada. Sin embargo, para poder evaluar las simulaciones del modelo se necesitan datos de referencia de desarrollo del cultivo recogidos a lo largo de todo el ciclo. Dichas medidas son necesarias para comparar los datos estimados por el modelo con los datos reales y así obtener una estimación de la fiabilidad del modelo. En la figura 14 se indican los días de medida representados junto con la precipitación y temperatura media diaria a lo largo del año agrícola 2011-2012. Cada día de medida se tomaron datos sobre la fenología del cultivo en cada parcela y además se midieron la humedad del suelo y la biomasa del cultivo en cuatro puntos diferentes de la parcela. Las medidas de humedad se realizaron con una sonda TDR Campbell calibrada con medidas adquiridas con el método termogravimétrico. Las medidas de biomasa se adquirieron segando una hilera de cereal de 1 m de longitud en cada punto de medida y midiendo la distancia entre hileras en cada parcela. Las muestras vegetales adquiridas se secaron en estufa a 60°C durante un mínimo de 48 horas hasta peso constante.

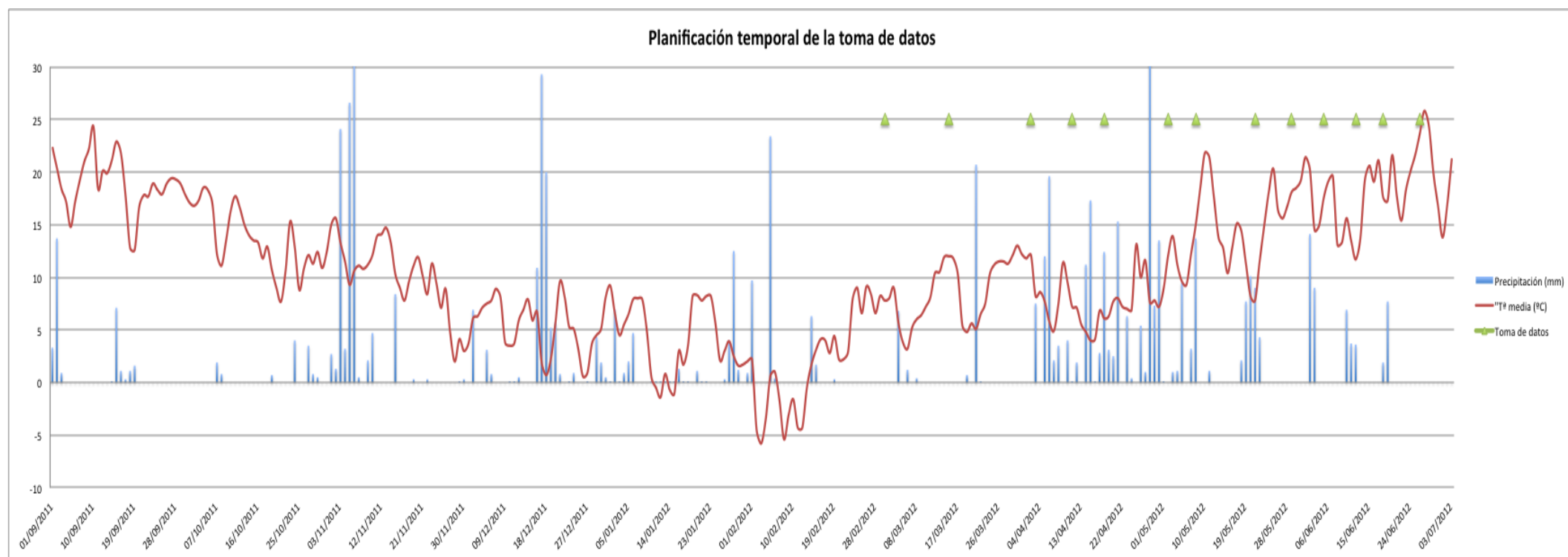


Figura 14. Planificación temporal de toma de datos

5.2 Metodología

Existen diferentes modelos matemáticos que simulan los procesos de desarrollo de los cultivos, entre los que se encuentra el modelo DSSAT (*Decision Support System for Agro-Technology Transfer*), basado en su antecesor CERES. El modelo DSSAT consta, a su vez, de seis modelos para simular el crecimiento de 16 cultivos de importancia económica y ha demostrado alta fiabilidad bajo distintas condiciones de clima, suelo y manejo (Jones, 1993). Con este modelo es posible organizar y archivar bases de datos sobre clima, suelo, cultivos, experimentos y precios; simular la producción de cultivos en una o varias épocas y en secuencias; analizar resultados y representar gráficamente simulaciones; y evaluar diferentes prácticas de manejo específicas a una explotación o parte de ella (Jones, 1993).

Para poder realizar una simulación en primer lugar hay que definir los siguientes datos de entrada:

- Meteorología: Datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento.
- Suelos: Los diferentes horizontes del suelo y las características de éste en cuanto a % de arena, limo y arcilla, %caliza total, materia orgánica, pH en el agua y C.E.
- Cultivo (especie) y variedad (cultivar): Datos de la especie y variedad sembrada en cada parcela. Si el programa no dispone de esas variedades, se pueden utilizar otras de éste siempre y cuando sean similares a las reales.
En este caso no contábamos con toda la información para crear el cultivar de cada variedad de trigo y cebada que eran necesarios por lo que utilizamos variedades que proporcionaba el modelo.
En la siguiente tabla se detallan las variedades del modelo DSSAT utilizadas para la simulación de las variedades cultivadas.

Cultivo	Parcela	Variedad cultivada	Vriedad utilizada DSSAT
Cebada	P07	Opal	A. Abiad
Cebada	P02	Meseta	Maris Badger
Cebada	P03	Meseta	Maris Badger
Cebada	P05	Meseta	Maris Badger
Cebada	P08	Meseta	Maris Badger
Trigo Blando	P01	Bokaro	Newton
Trigo Blando	P04	García	Newton
Trigo Blando	P06	Camargo	Manitou
Trigo Blando	P09	Berdún	Maris Fundin
Trigo Blando	P10	Berdún	Maris Fundin

Tabla 13. Variedades utilizadas para la simulación de las variedades cultivadas.

A) Crear el archivo de meteorología.

En primer lugar creamos el archivo de climatología con el módulo *Weatherman*. Las variables necesarias para la modelización de cereal son precipitación, temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, con un paso de tiempo diario. Las últimas dos variables son necesarias para el cálculo de la evapotranspiración potencial según FAO-56.

La forma más fácil de introducir la información en *Weatherman* es importar un archivo de texto con los datos meteorológicos:

1º. Descargar los datos de la estación meteorológica más cercana al punto a estudiar. En nuestro caso la estación meteorológica de Beortegui.

2º. Como los datos descargados están en formato Excel, seleccionamos las columnas necesarias y las pegamos en una hoja de cálculo de Excel en blanco.

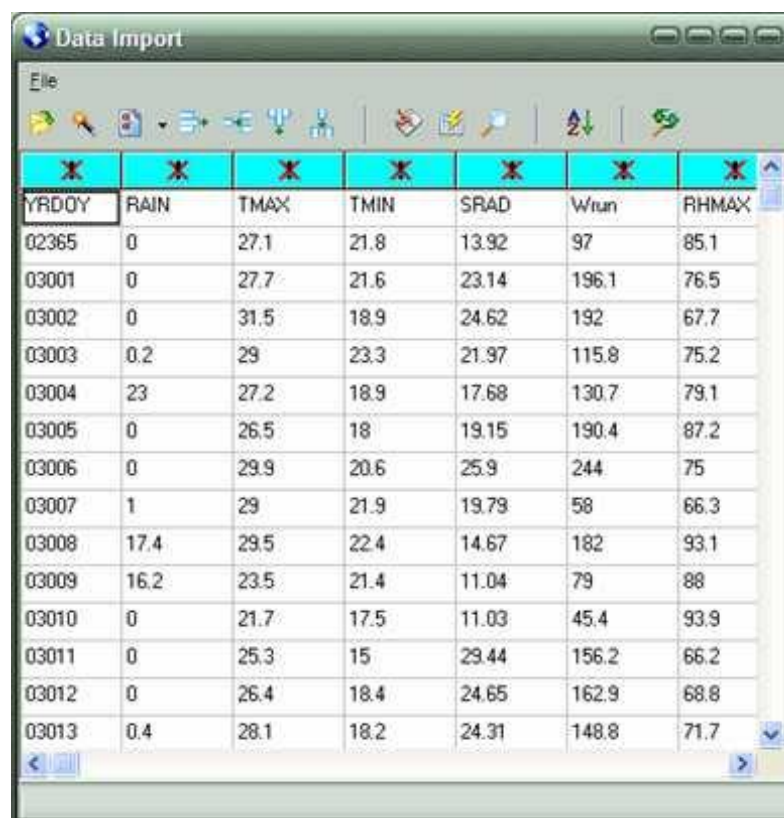
3º. Con los datos en el nuevo fichero de Excel, los modificamos de modo que puedan ser leídos por el *Weatherman*. Para ellos la fecha ha de ser modificada al formato YRDOY, es decir, un número de cinco dígitos en el que los dos primeros son el año en el

que nos encontramos y los tres dígitos restantes van de 1 hasta 365 contando todos los días del año. En nuestro caso comenzaría en 11244 ya que el primer día del que disponemos de datos es el 1 de septiembre de 2011.

4°. Una vez modificado el nuevo fichero de Excel con los datos necesarios, copiamos estos en un cuaderno de notas (Notepad).

5°. Con la ayuda del asistente de *Weatherman* importamos este fichero en DSSAT. Para ello vamos a la pestaña *Weatherman* → *New station* → Seleccionamos la pestaña: *Input or import raw weather data* y lo guardamos como una nueva estación.

6°. Buscamos el archivo de texto que acabamos de crear, lo seleccionamos y lo abrimos. En la pantalla aparecerá como la Figura 15.



YRDOY	RAIN	TMAX	TMIN	SRAD	Wrun	RHMAX
02365	0	27.1	21.8	13.92	97	85.1
03001	0	27.7	21.6	23.14	196.1	76.5
03002	0	31.5	18.9	24.62	192	67.7
03003	0.2	29	23.3	21.97	115.8	75.2
03004	23	27.2	18.9	17.68	130.7	79.1
03005	0	26.5	18	19.15	190.4	87.2
03006	0	29.9	20.6	25.9	244	75
03007	1	29	21.9	19.79	58	66.3
03008	17.4	29.5	22.4	14.67	182	93.1
03009	16.2	23.5	21.4	11.04	79	88
03010	0	21.7	17.5	11.03	45.4	93.9
03011	0	25.3	15	29.44	156.2	66.2
03012	0	26.4	18.4	24.65	162.9	68.8
03013	0.4	28.1	18.2	24.31	148.8	71.7

Figura 15. Datos meteorológicos importados en Weatherman

7°. Definimos las columnas; clicamos con botón derecho del ratón en el encabezado de la columna y seleccionamos cada variable y sus unidades. Una vez definidas todas las columnas, eliminamos la fila de encabezado. Las unidades han de ser mm/día para la precipitación, °C para las temperaturas, MJ/m² para la radiación solar y % para la humedad relativa.

B) Crear archivo de suelo.

El módulo *Sbuild* de DSSAT se utiliza para la creación de los archivos de suelo. Cada suelo en DSSAT se define como un perfil completo y se almacena en un archivo de suelo. Los suelos son nombrados y codificados y se incorporan a la base de datos del modelo. El código del suelo se utiliza en el archivo de experimento para referirse a la información del suelo. Cada perfil de suelo tiene un número de horizontes de suelo. Cada horizonte está asociado con características físicas y químicas específicas.

Para crear un nuevo perfil de suelo:

1°. Abrir *Sbuild*, clicar en la pestaña *Profile* → *New*.

2°. En la pantalla que se abre, introducir datos generales del suelo y clicar siguiente. En esta pantalla se va a detallar el código para identificar posteriormente el suelo (Figura 2).

The screenshot shows the 'Sbuild' software window. The title bar reads 'Sbuild ... Working with file C:\DSSAT4\SOIL\SOIL.SOL...'. Below the title bar is a menu bar with 'File', 'Profile', and 'Help'. The main content area is titled '...Creating a new soil profile ...'. It is divided into two sections: 'General Information' and 'Surface Information'. The 'General Information' section contains the following fields: Country (RSA), Site Name (Mt Edgecumb), Institute Code (SR), Latitude, Longitude, Soil Data Source (SASRI), Sampling Year (1990), Soil Series Name (Arcadia), and Soil Classification (Vertisol). The 'Surface Information' section contains: Color (Brown), Drainage (Well), % Slope, Runoff Potential (Moderately Low), and Fertility Factor (0 to 1) (1). At the bottom of the window are two buttons: 'Cancel' and 'Next >'.

Figura 16. Generación de un nuevo perfil de suelo con Sbuild

3°. Creamos primero los horizontes haciendo clic en el botón "*Add layer*" tantas veces como horizontes tenga el suelo y definimos el espesor de cada capa del suelo. Nota: comenzar desde la capa más profunda. A continuación añadimos los datos atribuidos a cada horizonte del suelo.

4°. Guardar el perfil de suelo creado.

C) Creación del archivo de experimento.

En este caso cada experimento sería cada una de las parcelas que se van a analizar. Para crear un nuevo experimento:

1º. Abrir nuevo experimento. Abrimos el programa y en la pantalla de inicio clicamos New – Experiment.

2º. Introducimos la siguiente información:

General Information- C:\DSSAT4\SRCR0701.X(Experimental)

File Type: Experimental

Experiment Name: Example DSSAT sugarcane...

Experiment Identifier (file name):

Institute Code: SR

Site Code: CR

Year: 2007

Experiment Number: 01

Crop: SUGARCANE

Plot: TANIER

Plot Information:

Gross Plot:

Figura 17. Información necesaria para crear un nuevo experimento

1. seleccionamos experimental.
2. Breve descripción del experimento.
3. Introducimos un código de identificación.
4. Introducimos un código para identificar el lugar del experimento.
5. Año de estudio.
6. Número del experimento.
7. Seleccionamos el cultivo; en nuestro caso será cebada (barley) o trigo (wheat).

8. Introducimos información general en las demás casillas, clicamos en siguiente y guardamos el experimento. Con la información introducida, DSSAT asigna un código único para este experimento. Este código se utiliza como el nombre de archivo para este ArchivoX.

3°. Introducimos el cultivar, es decir, la especie y variedad que esté sembrada en cada parcela.

4°. Realizamos la configuración de campo. Aquí introducimos la estación meteorológica utilizada (en nuestro caso la estación de Beortegui) y el suelo creado para cada parcela. Y clicamos “ok”.

The screenshot shows the 'Fields' configuration window in DSSAT. The window has a title bar with '>Build' and a menu bar with 'File', 'Environment', 'Management', 'Treatment', 'Simulation options', 'Refresh', and 'Help'. The main area is titled 'Fields' and contains a 'Level 1' section. The 'Field ID' is set to 'SRME0005'. The 'Soil' section shows 'Name' as 'LAMERCY' and 'Soil' as 'SALAS0001'. The 'Drainage' section shows 'Drainage Type' as 'No drainage'. Annotations with arrows point to specific fields: 'SR - SASRI; ME - Mount Edgecombe (site); 0005 field 5. The FieldID MUST be 8 characters' points to the 'Field ID' field; 'Choose 'TongaataData, SASA' for your weather station' points to the 'Name' field in the 'Soil' section; and 'No drainage' points to the 'Drainage Type' dropdown menu.

SR - SASRI; ME - Mount Edgecombe (site); 0005 field 5. The FieldID MUST be 8 characters

Choose 'TongaataData, SASA' for your weather station

No drainage

Figura 18. Realización de la configuración de campo

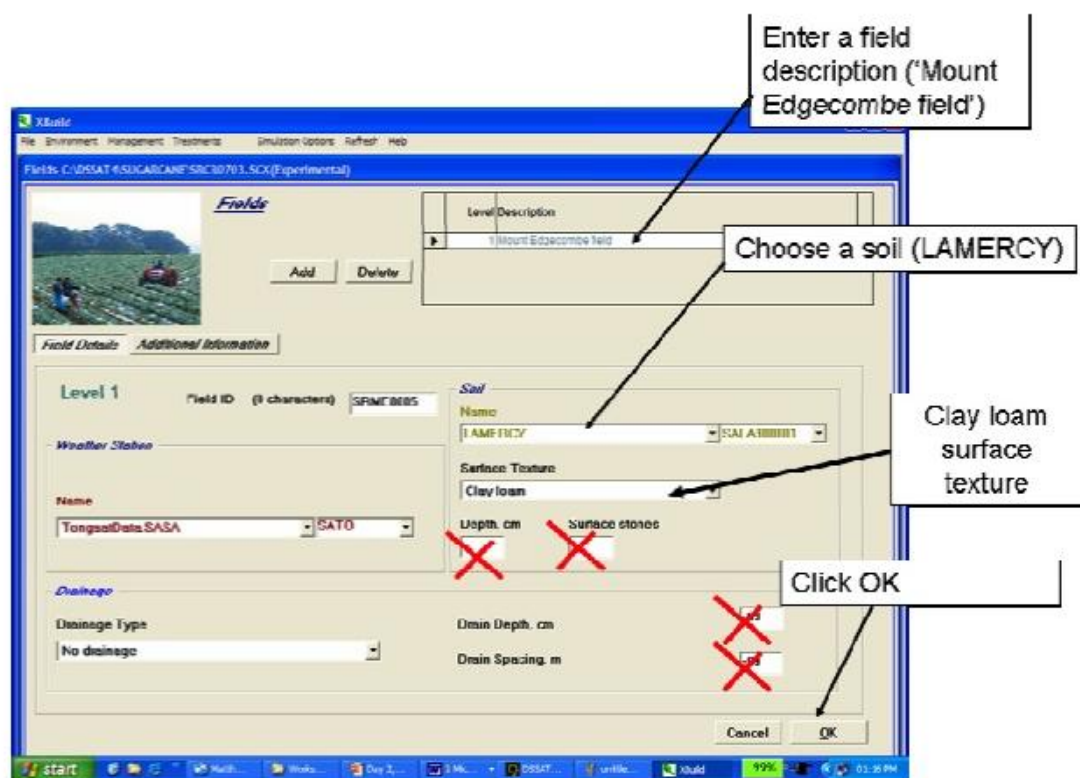


Figura 19. Realización de la configuración de campo (2)

5°. Introducimos y configuramos los detalles de siembra.

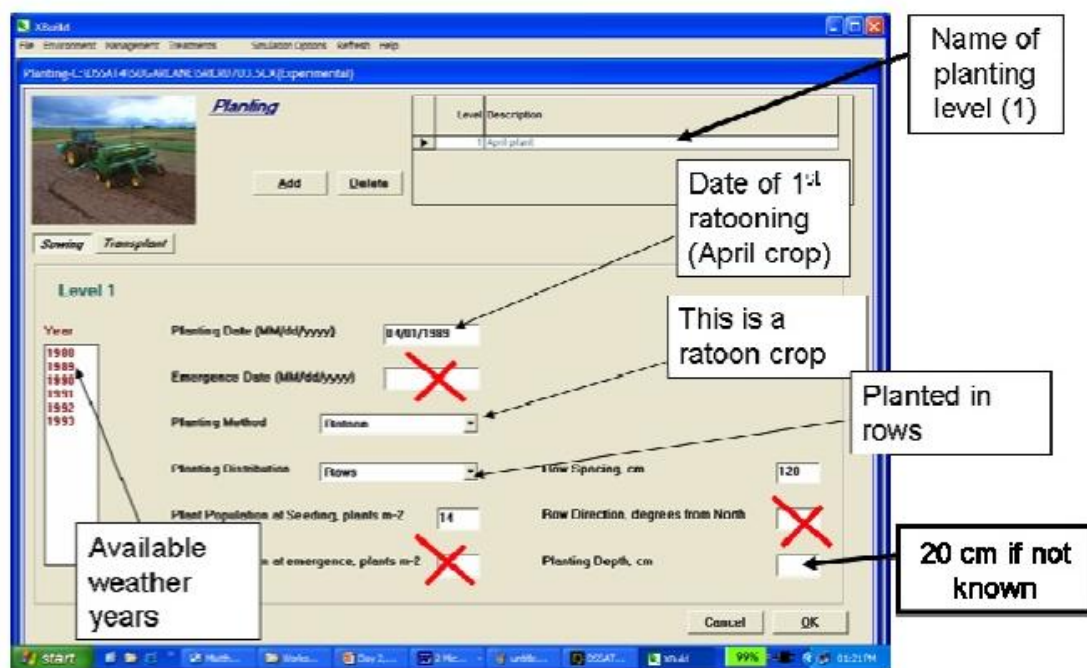


Figura 20. Configuración detalles de siembra

1. Introducir fecha de siembra.
2. Método de siembra, en nuestro caso semilla seca a chorillo.
3. Densidad de siembra, en nuestro caso 350 semillas/m² para cebada y 400 semillas/m² para trigos blandos.
4. Espacio entre chorrillos y profundidad de siembra.

6°. Establecemos las fechas de cosecha; para ello clicamos en la pestaña management y seleccionamos la opción *harvest*.

7°. Definimos los factores para la simulación. En este caso no ha sido necesario añadir datos de riego , ya que todas las parcelas eran de secano. Pero si ha habido que meter los datos de abonado y tratamientos fitosanitarios efectuados las fechas y las dosis. No se pone que tratamiento has aplicado sino la cantidad de Nitrógeno que se a aplicado y cuando.

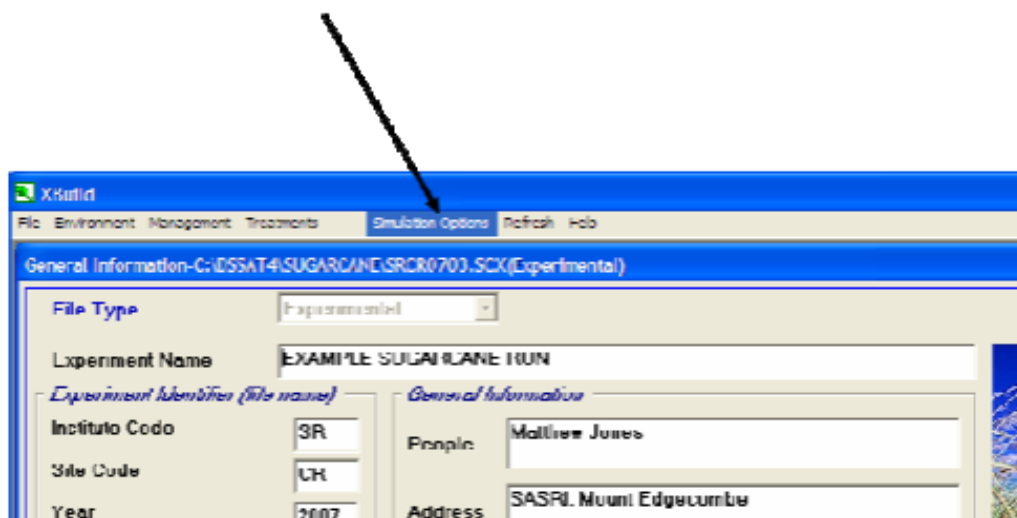


Figura 21. Opciones de simulación

En el apartado de Simulation options se van seleccionando las pestañas que se se desean rellenar, en este caso la pestaña de nitrógeno.

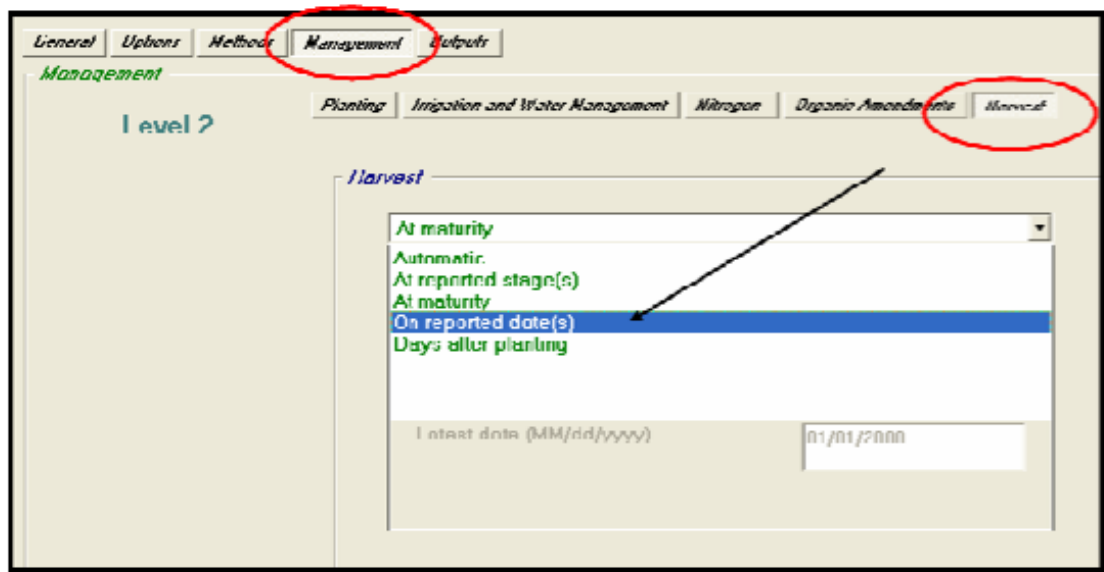


Figura 22. Aplicación nitrógeno y riego

8°. Ejecutamos el modelo y vemos las salidas.

- 1- Dentro del programa en la sección cereales, seleccionamos Wheat o Barley dependiendo de qué experimento queremos simular si uno de trigo o cebada respectivamente. Clicamos en el botón de actualizar para cerciorarnos de que todos los datos se han actualizado (Figura X).

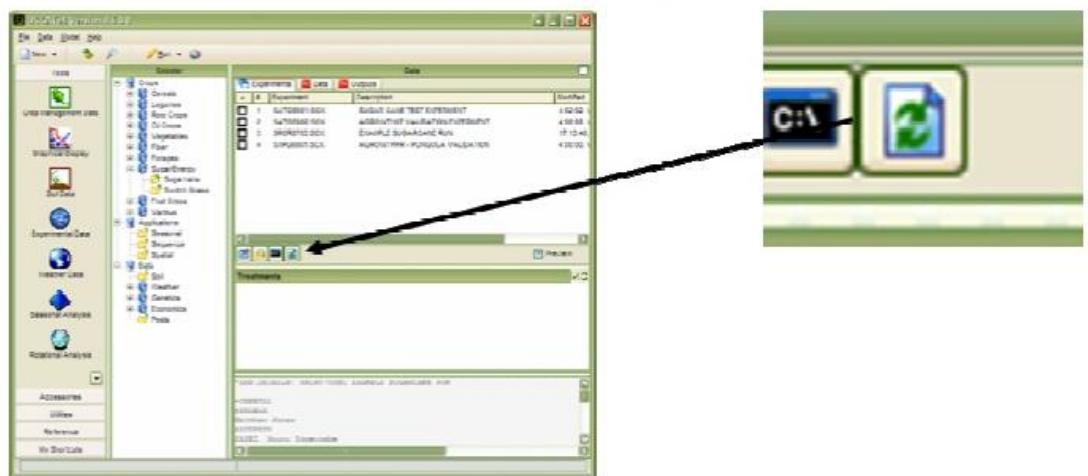


Figura 23. Actualizar modelo de simulación

- Seleccionamos el experimento que queremos simular y clicamos en el botón *Run* en la parte izquierda de la pantalla.

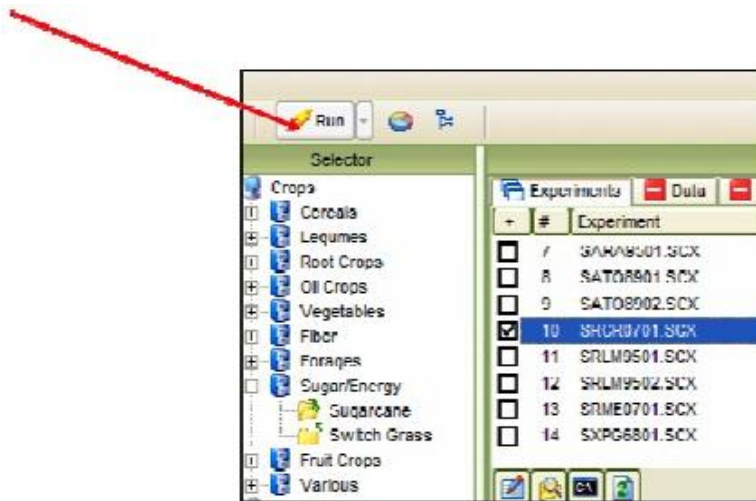


Figura 24. Ejecutar modelo de simulación

- 3- Nos aparece la siguiente pantalla en la que clicamos el botón *Run Model*.

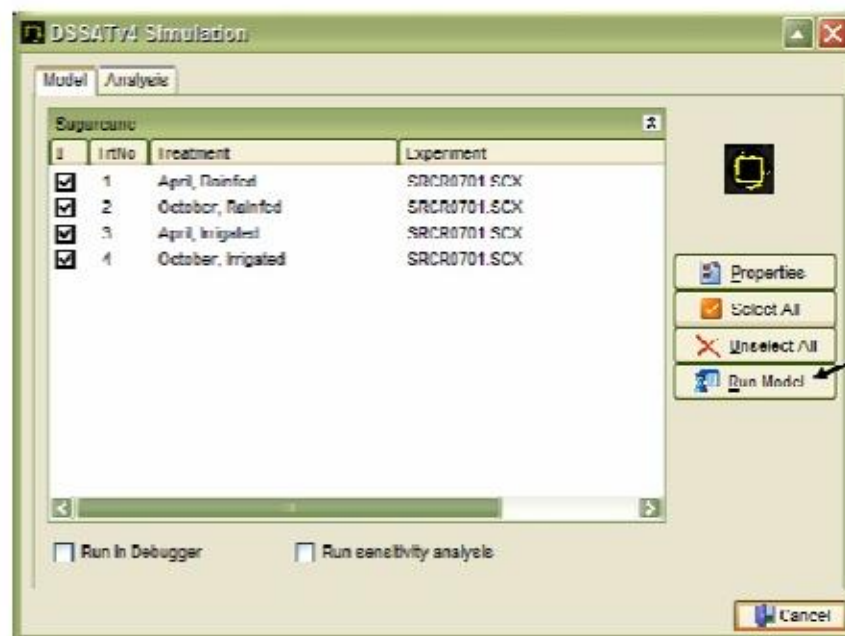


Figura 25. Ejecutar para simulación

- 4- Clicamos en la pestaña *Analysis* y allí seleccionamos la opción “plantgro.out” y clicamos *plot* para que el programa *Gbuild* genere los gráficos de las diferentes variables.

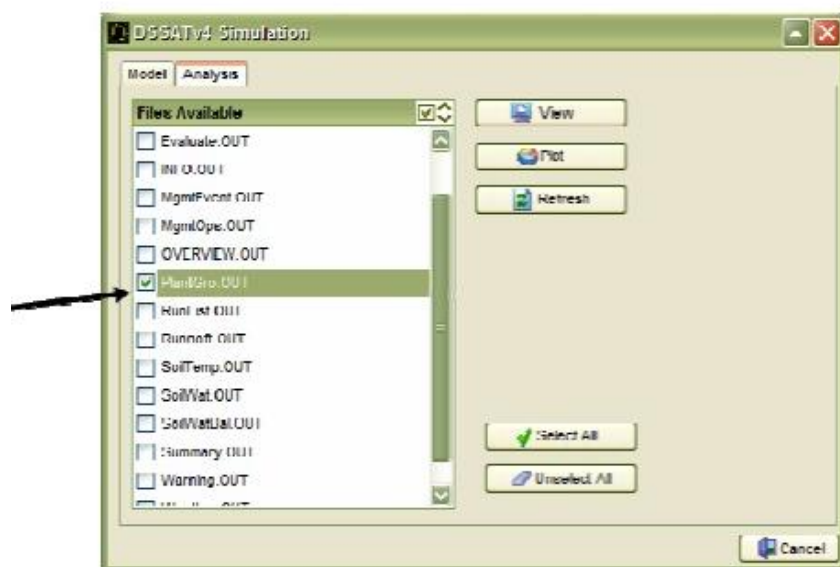


Figura 26. Ejecutar opción *PlantGro* para ver variables para el gráfico

- 5- Nos aparece la siguiente pantalla, en la que podemos seleccionar las diferentes variables que queremos comparar con los datos reales.

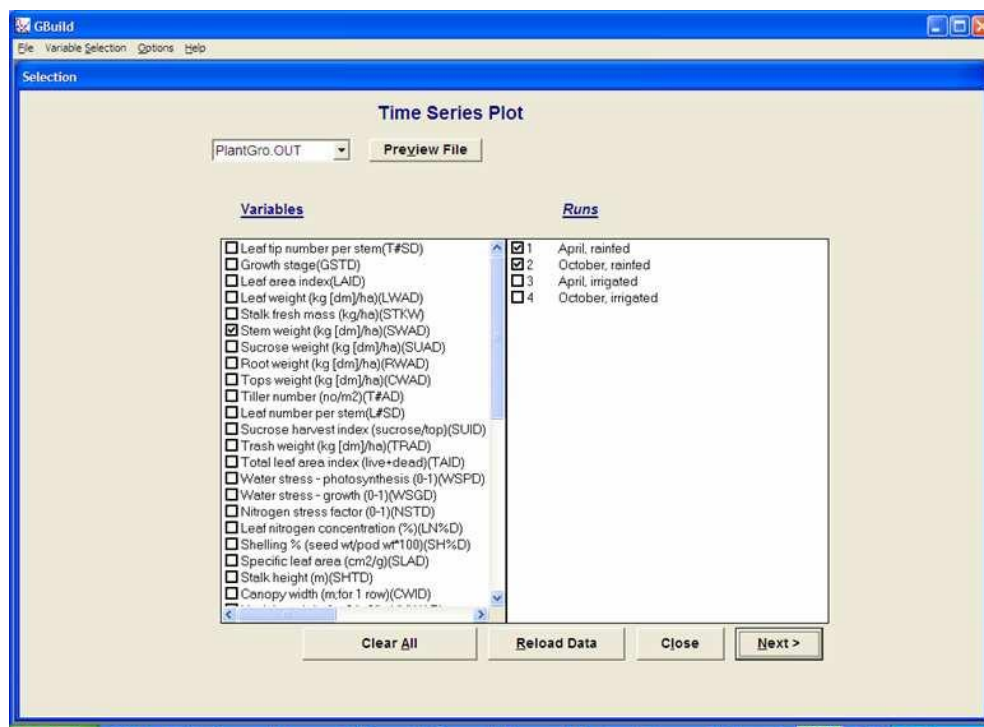


Figura 27. Seleccionar las variables para realizar el gráfico

6- Una vez seleccionado el parámetro deseado, clicamos *Next* y se genera un gráfico similar al que se muestra a continuación.

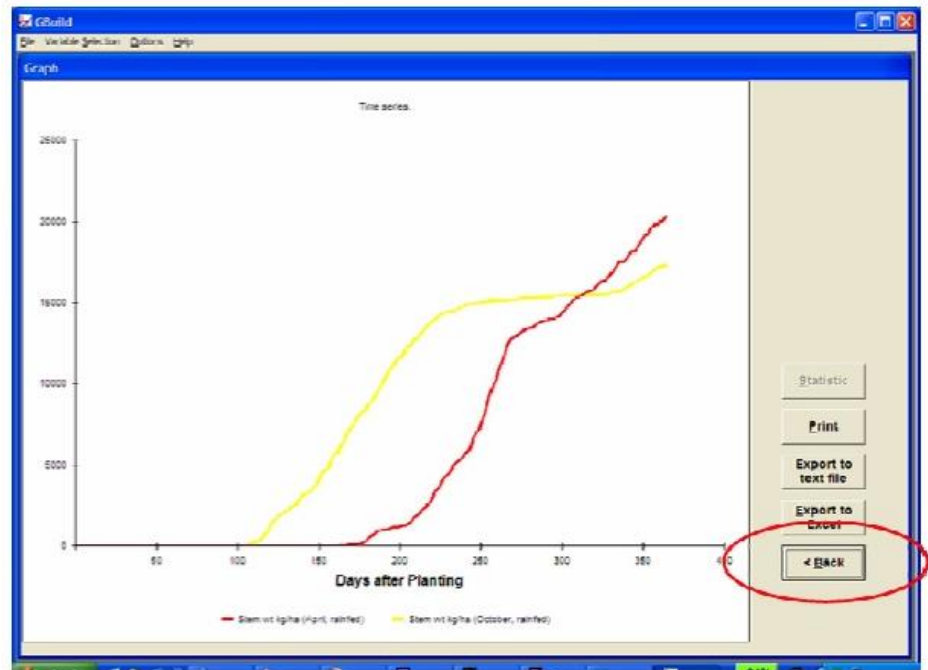


Figura 28. Gráfico simulado

7- Una vez tenemos el gráfico en pantalla lo exportamos a un archivo de Excel y lo modificamos según sea más conveniente para nuestro estudio.

6 Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos. En primer lugar, los datos reales medidos en campo; en segundo lugar, los datos simulados obtenidos por medio del modelo de simulación de crecimiento del cultivo DSSAT; y para finalizar una comparación de ambas series de datos para ver si hay diferencias significativas o la simulación ha sido acorde a los datos reales.

6.1 Datos reales

A continuación se muestran los datos reales obtenidos de las diferentes medidas realizadas en campo en las fechas ya señaladas. Se muestran los valores medios por parcela de humedad del suelo, estado fenológico y biomasa.

6.1.1 Humedad del suelo

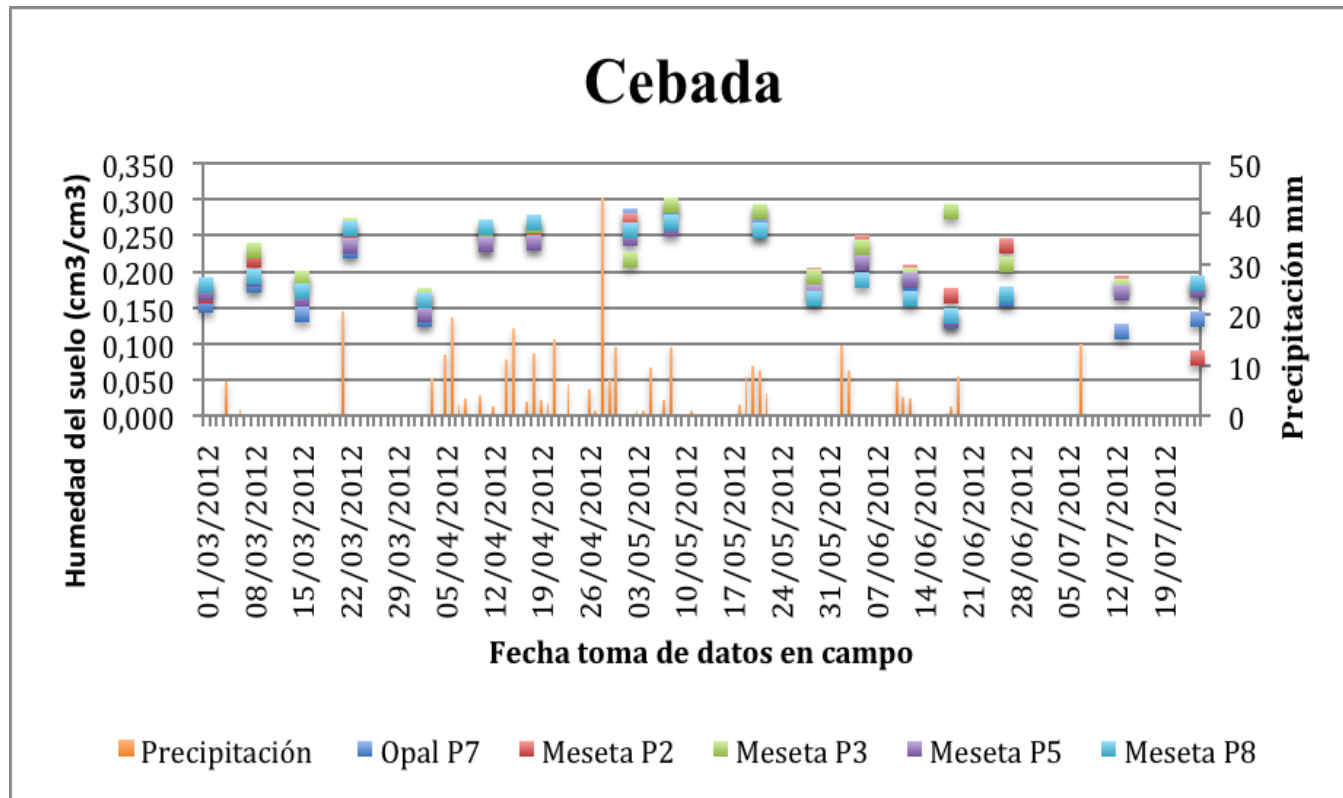


Figura 29. Humedad del suelo y precipitación recogida el día del muestreo

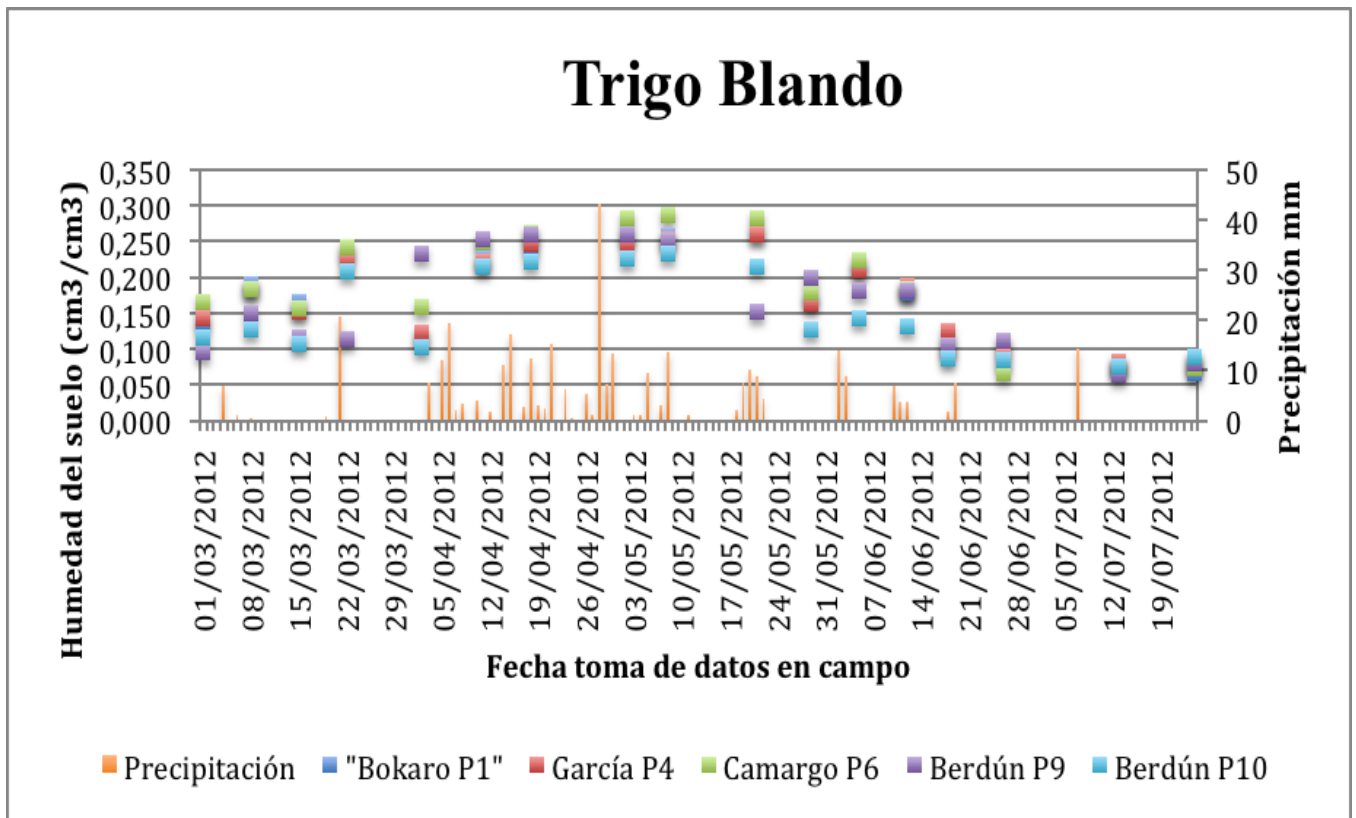


Figura 30. Humedad y precipitación recogidas el día de muestreo

En todos cultivos podemos observar que la humedad del suelo aumenta tras la precipitación caída en abril; a partir de este momento se mantiene y comienza a descender en mayo cuando las temperaturas comienzan a ascender y las precipitaciones a reducirse. El ascenso de temperaturas causa una evaporación del agua en el suelo al mismo tiempo que las plantas transpiran más, por lo que deben extraer más agua del suelo, lo que disminuye la humedad en éste.

Al comparar la evolución de la humedad del suelo entre las parcelas cultivadas de cebada, no se aprecian diferencias significativas entre ellas no apreciándose un patrón por el cual una parcela de una variedad determinada presente una humedad superior o inferior a las demás en los muestreos realizados, a excepción de la parcela N° 3 sembrada con Meseta, en la que se observa un ascenso en la humedad del suelo el día 18 de junio sin observarse ninguna precipitación abundante. Sin embargo en las parcelas de trigo, la parcela 10 tiene menor humedad en casi todas las fechas, y la parcela 6 en muchos días aparece como la que más humedad tiene.

6.1.2 Fenología

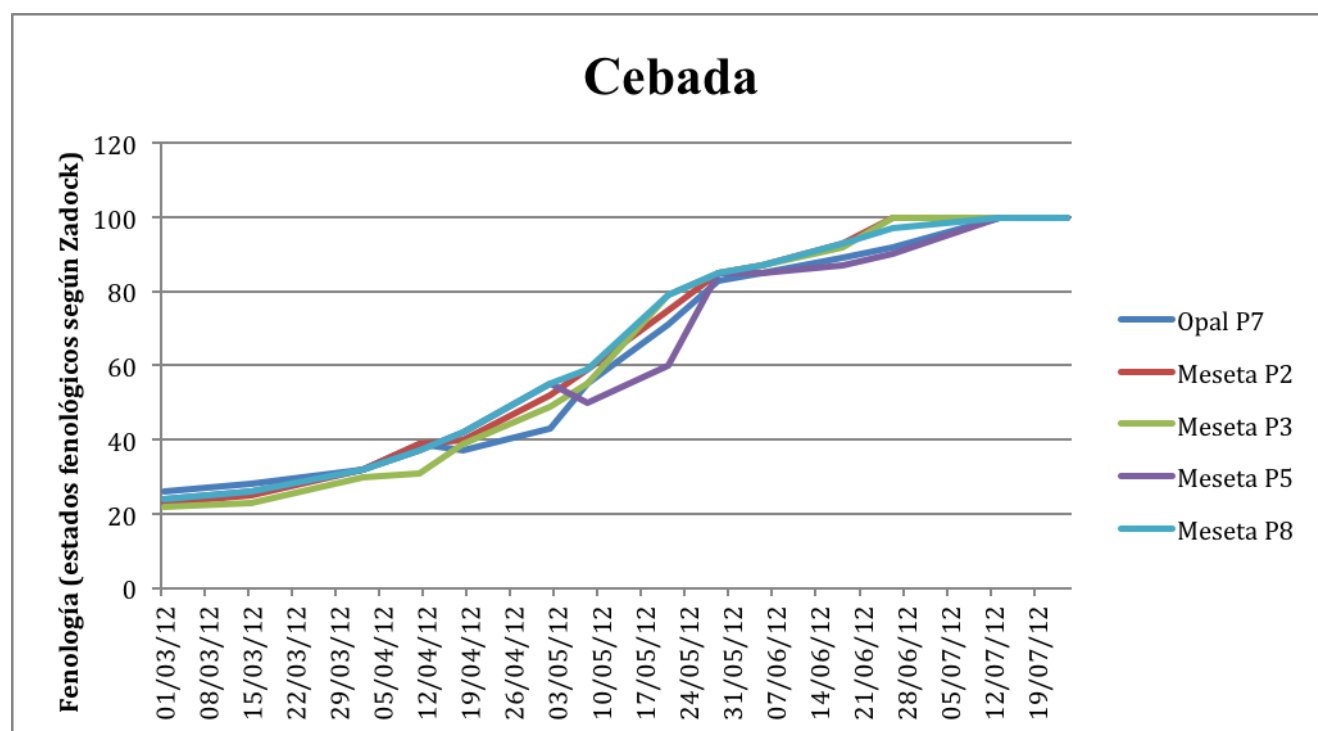


Figura 31: Evolución de la fenología de las parcelas de cebada

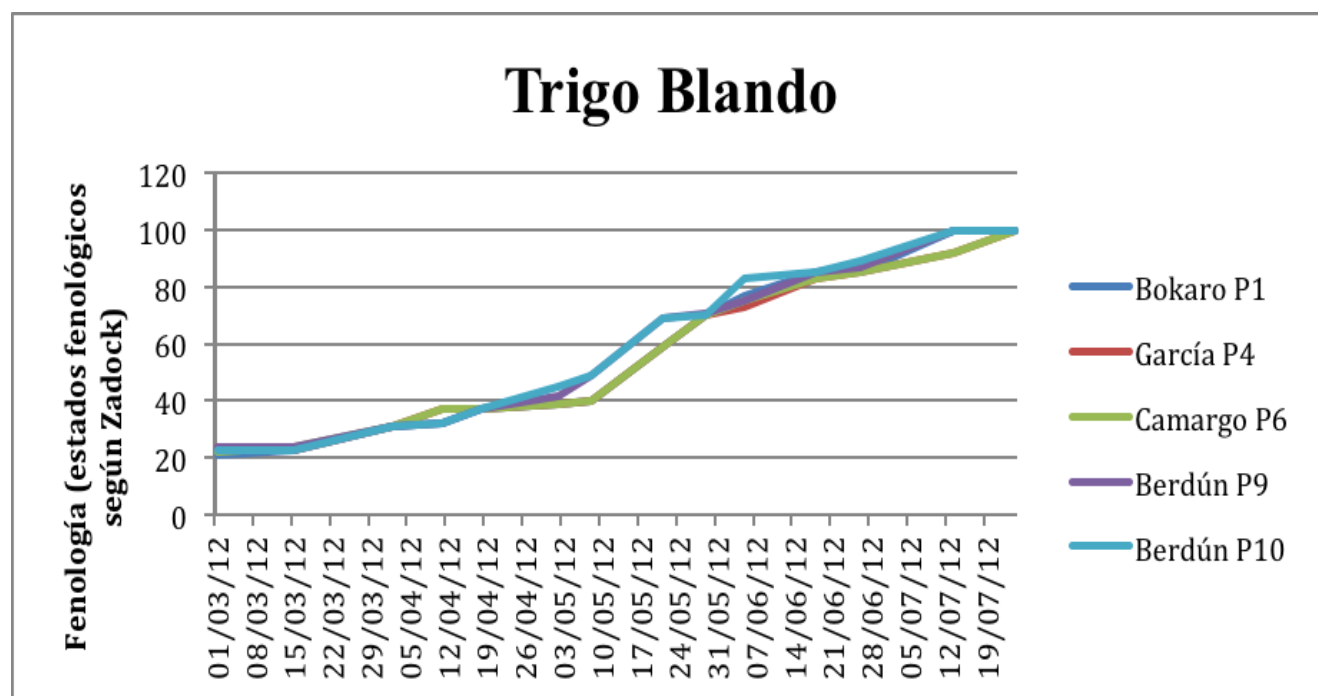


Figura 32. Evolución de la fenología de las parcelas de trigo

La fenología está medida según la escala de Zadock, se puede observar que en todas las variedades la curva es ascendente, exceptuando algunos datos puntuales que pueden ser debidos a la propia variabilidad de la toma de muestras en campo.

En las cebadas, se puede observar que la variedad Opal es algo más tardía que la Meseta. La parcela P5 de Meseta es también bastante tardía, aunque esto puede ser debido al tipo de terreno.

En los trigos blandos, podemos observar que las variedades Berdún, García y Bokaro evolucionan casi solapadamente. A su vez la variedad Camargo presenta cierta precocidad en el encañado y retraso en el espigado y madurez.

6.1.3 Biomasa

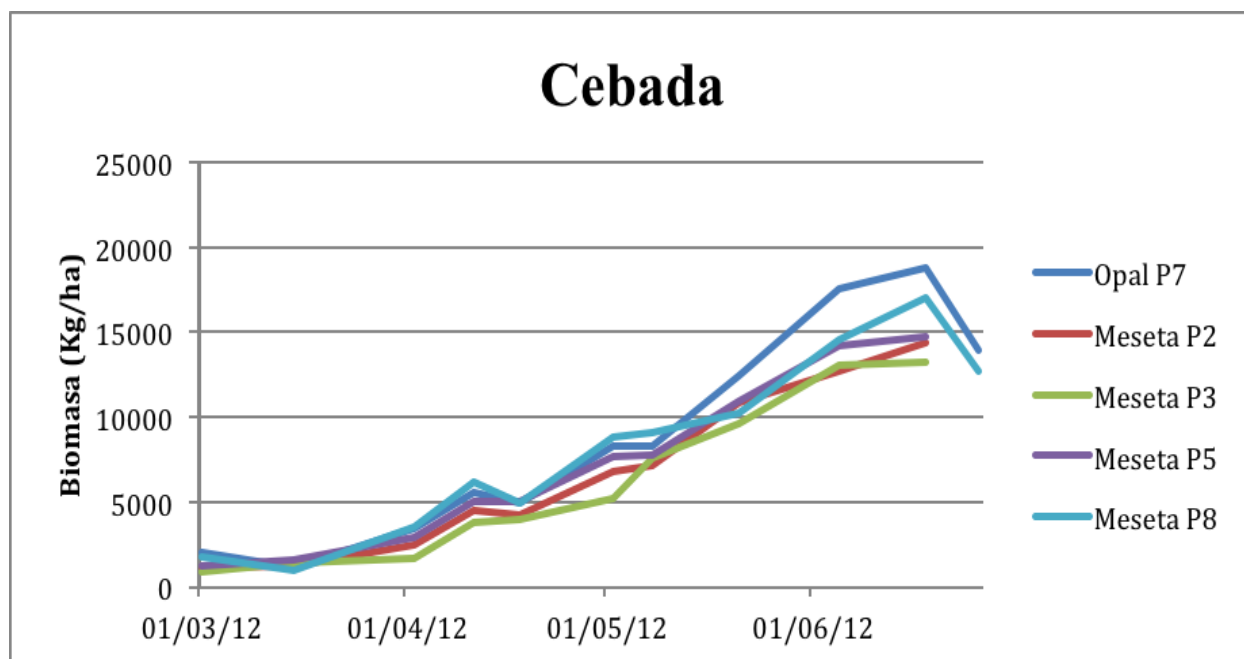


Figura 33. Evolución de la biomasa en parcelas de cebada

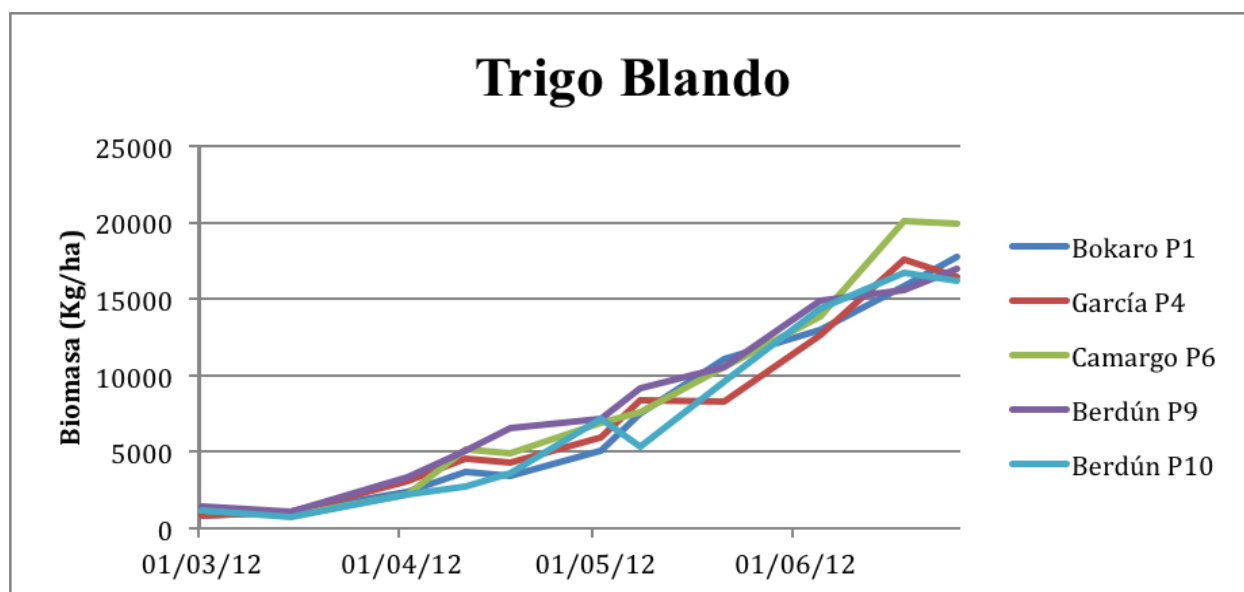


Figura 34. Evolución de biomasa en parcelas de trigo blando

La biomasa va en sentido ascendente en todas variedades. Los trigos alcanzan biomasa finales mayores que las cebadas, ya que todas las parcelas superan los 16000 kg/ha. La parcela de cebada Opal tiene una biomasa claramente superior que las parcelas de Meseta y entre éstas, la parcela 3 es la que tiene menor biomasa a lo largo de toda la campaña. Entre los trigos, el Camargo alcanza una biomasa final superior al resto pero en las fases anteriores no muestran biomasa mayores que las otras variedades.

6.1.4 Producción

Parcela N°:	Producción real de grano (Kg/Ha)	Variedad	Especie
7	7531	Opal	CEBADA
2	5528	Meseta	
3	7055		
5	6368		
8	5609		
1	8696	Bokaro	TRIGO BLANDO
4	9792	García	
6	5523	Camargo	
9	7144	Berdún	
10	5008		

Tabla 14. Producción real de grano de las parcelas de Cebada y Trigo blando

En cebadas, la variedad Opal presenta la mayor producción verificando así los estudios realizados por ITGA, 2010. La producción de la variedad Meseta es muy similar en todas parcelas a excepción de la parcela 3 que es ligeramente mayor aunque presenta una biomasa inferior al resto.

El trigo blando presenta producciones elevadas entre las que destaca la parcela 4, sembrada con la variedad García, que supera los 9700 kg/ha y la parcela 1 de la variedad Bokaro con una producción que supera los 8600 kg/ha. La variedad Berdún muestra producciones diferentes entre sus dos parcelas, con 7.144 kg/ha en el caso de la parcela 9 y 5.000 kg/ha en la parcela 10. Esta diferencia resulta llamativa, ya que en la fenología y biomasa del cultivo no se han apreciado anomalías que apunten a problemas en su desarrollo. En los datos de humedad se aprecia una menor humedad en la parcela 10 de forma continua a lo largo de toda la campaña, lo que podría explicar su menor producción final. Es posible también que las diferencias se deban a las características del suelo. Por último, la variedad Camargo presenta una producción moderada, aunque su biomasa total haya sido elevada.

6.2 Datos simulados

A continuación se muestran los datos simulados obtenidos por el modelo DSSAT, para los diferentes cultivos en las parcelas detalladas anteriormente.

6.2.1 Humedad del suelo

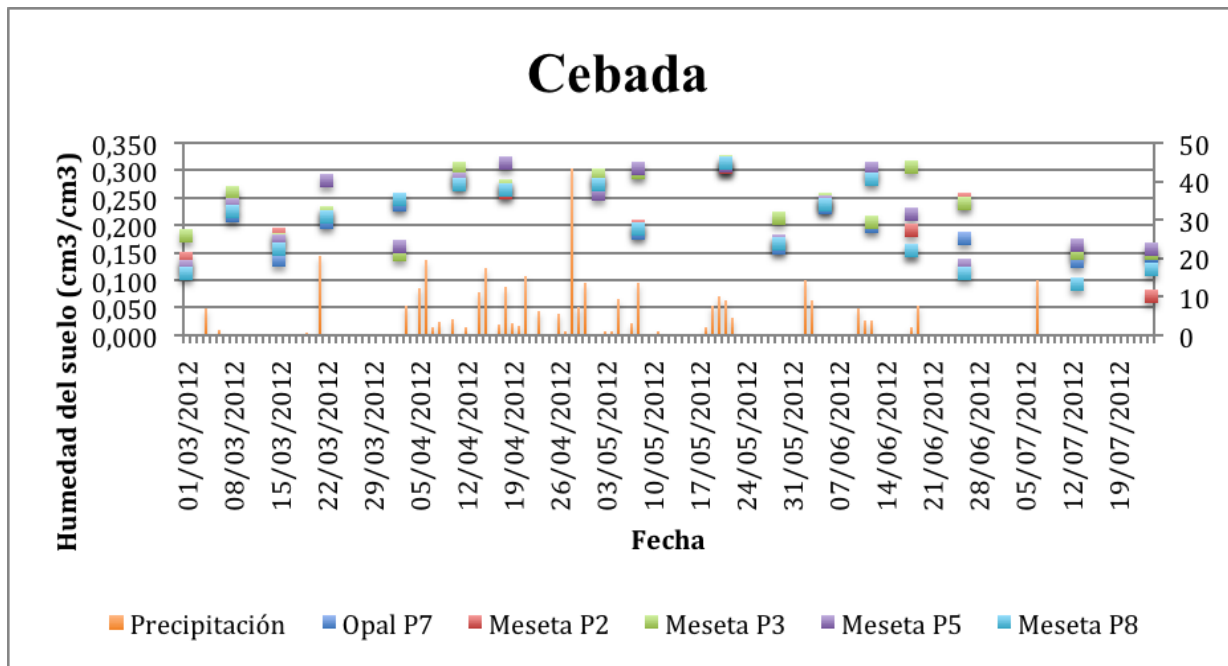


Figura 35. Humedad del suelo y precipitación en parcelas de Cebada

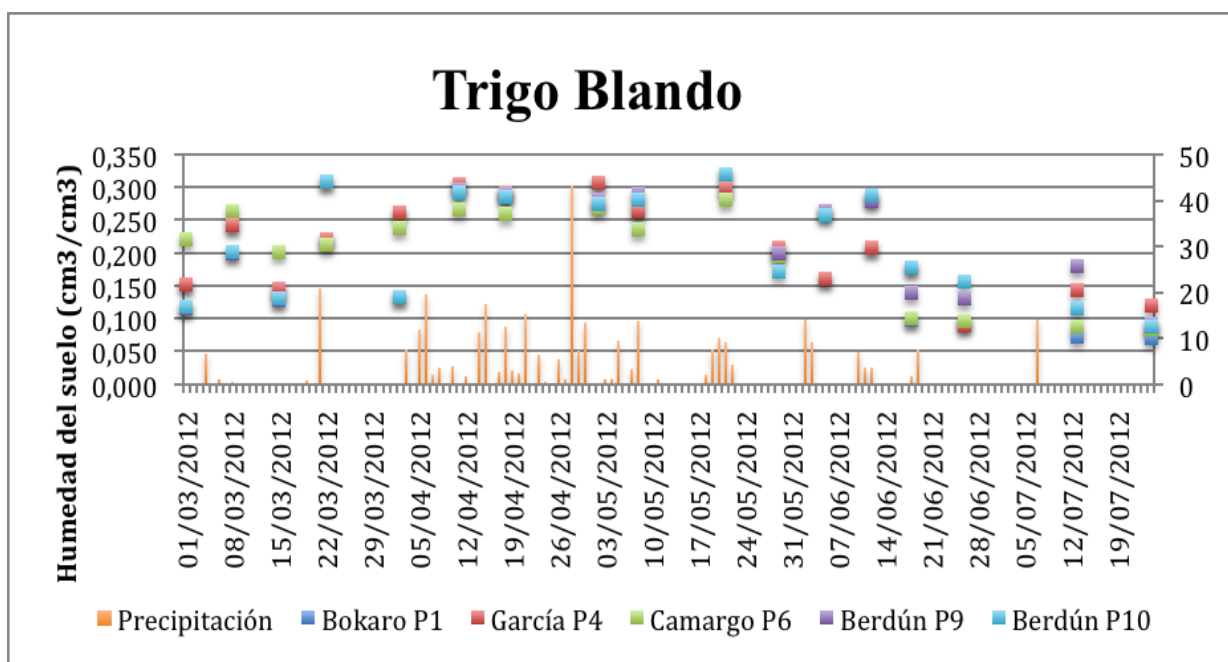


Figura 36. Humedad del suelo y precipitación en parcelas de Trigo blando

El rango de valores de humedad simulado es muy similar al medido en campo y que las tendencias son similares. En el caso del trigo se aprecian mayores diferencias entre las parcelas, a diferencia de los datos reales de campo.

Es llamativa la diferencia de humedad en las parcelas, ya que los datos meteorológicos de entrada eran exactamente iguales. Esto se puede deber a la evolución del cultivo y con ello sus requerimientos de agua y a las diferencias entre tipos de suelo.

Las parcelas de Trigo blando Berdún (P0 y P10), presentan una evolución similar entre ellas, pero diferente a las demás, ya que cuando no se observan precipitaciones la humedad está por debajo de las demás y cuando existe precipitación suben por encima de las demás.

6.2.2 Fenología

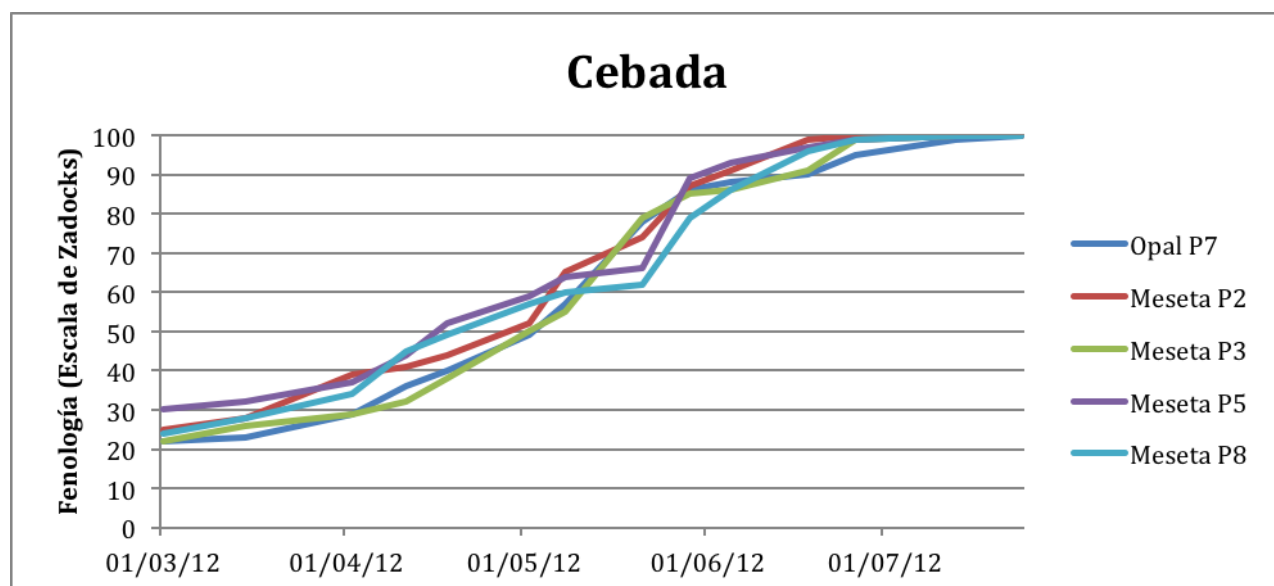


Figura 37. Evolución de la fenología en parcelas de Cebada

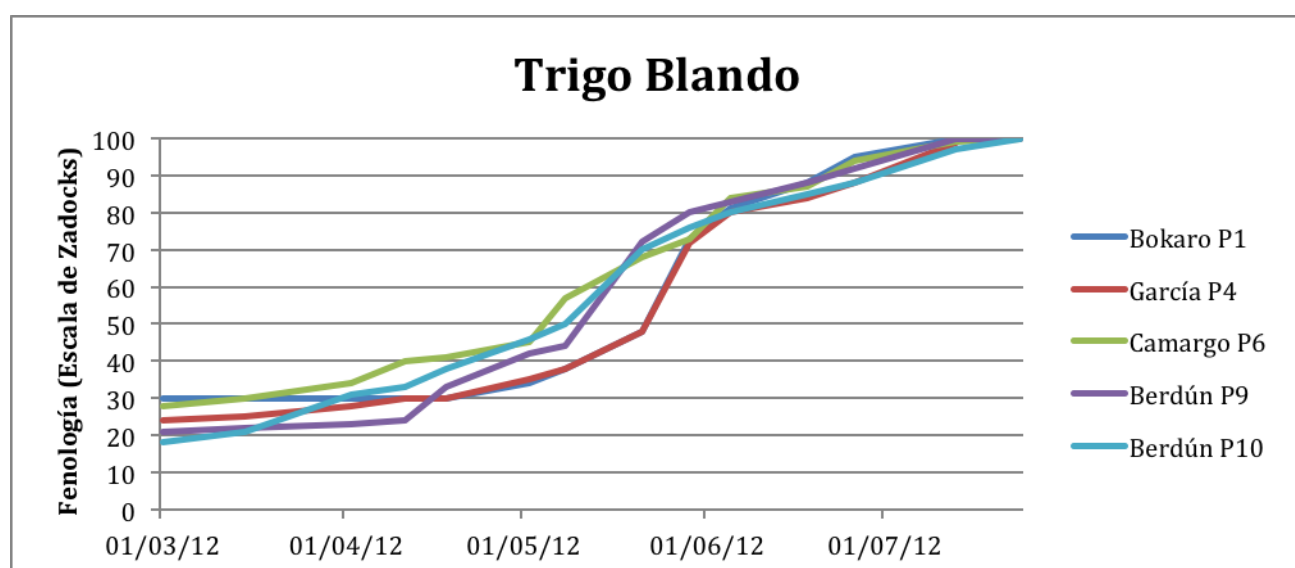


Figura 38. Evolución de la fenología en parcelas de Trigo blando

Del mismo modo que en el apartado anterior, la fenología está medida según la escala de Zadocks. Se aprecian diferencias más acusadas entre parcelas que lo observado en las mediciones de campo.

En las cebadas, se puede observar que la variedad Meseta es más precoz que la variedad Opal en la primera mitad de la campaña, aunque hacia el final de la campaña las diferencias se reducen.

En los trigos blandos, se ve que la variedad García en los primeros estadios es más lenta, presentando una maduración más precoz.

6.2.3 Biomasa

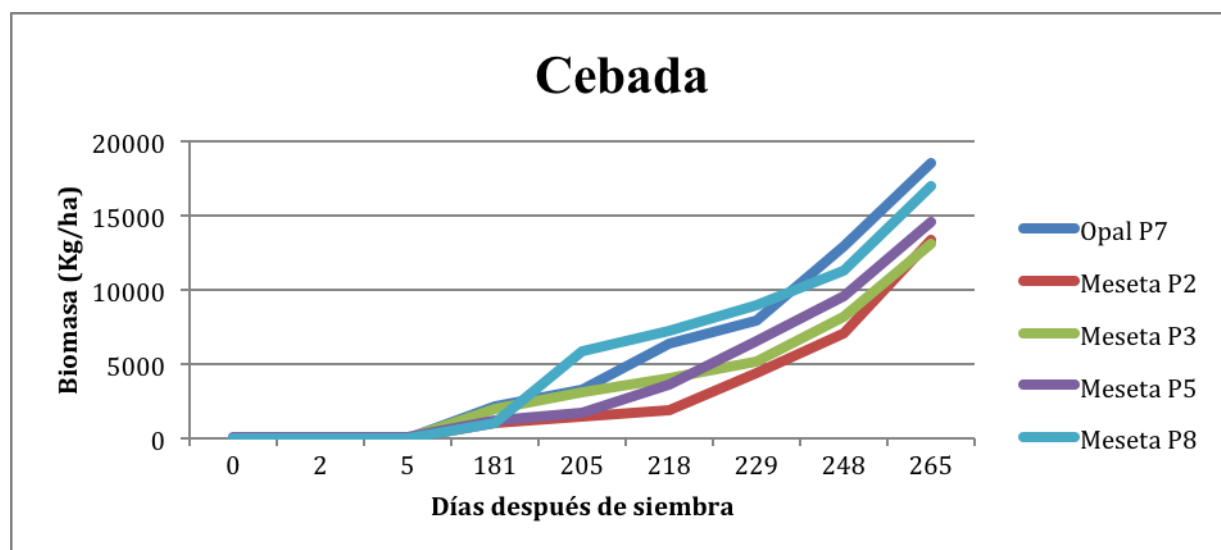


Figura 39. Evolución de la biomasa en parcelas de Cebada

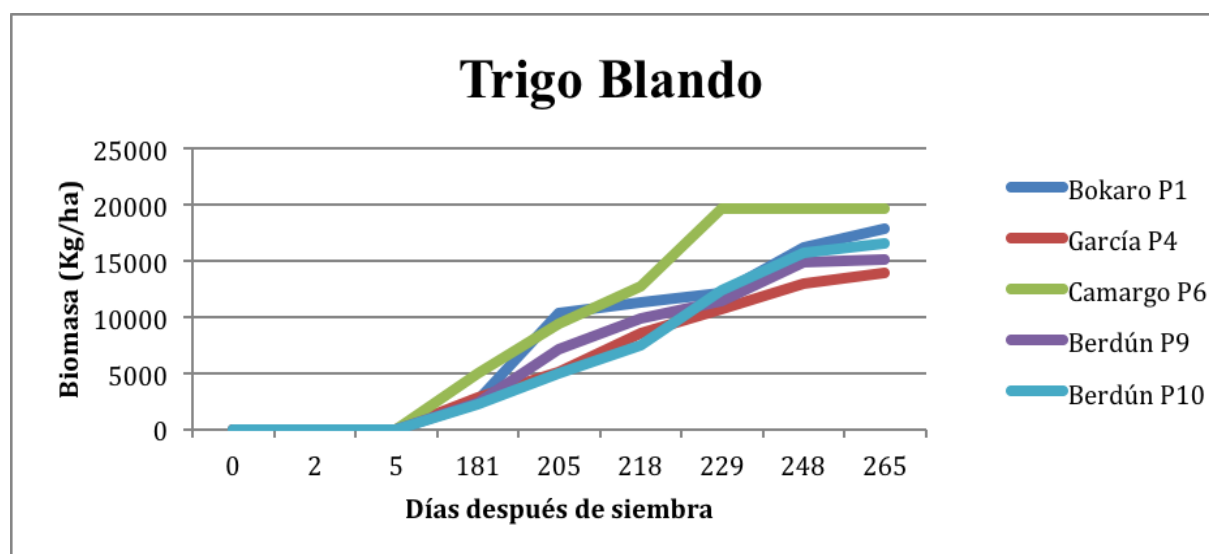


Figura 40. Evolución de la biomasa en parcelas de Trigo blando

La biomasa va en sentido ascendente en todas variedades.

La variedad Meseta, en cebada, presenta una biomasa inferior a Opal; siendo las de menor biomasa las cultivadas en las parcelas 2 y 3 lo cual se puede deber al manejo llevado a cabo por el agricultor.

En trigo blando, la de mayor biomasa es la variedad Camargo, al igual en los datos reales. Y la variedad García la de menor biomasa.

6.2.4 Producción

Parcela Nº:	Producción simulada (Kg/Ha)	Variedad	Especie
7	6.645	Opal	CEBADA
2	4.795	Meseta	
3	6.726		
5	5.870		
8	4.659		
1	9.300	Bokaro	TRIGO BLANDO
4	9.897	García	
6	5.972	Camargo	
9	8.034	Berdún	
10	6.117		

Tabla 15. Producción simulada de grano en las parcelas de Cebada y Trigo blando

La producción de cebada es muy similar en sus parcelas. Hay variedades que aunque presenten una biomasa inferior eso no se ve reflejado en la producción, como por ejemplo en la parcela 3.

El trigo Camargo presenta una producción inferior al resto, lo cual es extraño ya que es una variedad con un potencial productivo bastante elevado según los ensayos realizados por GENVCE. También se observan diferencias significativas entre las producciones de Trigo Berdún, siendo que el suelo y el clima de las parcelas es el mismo. Esta diferencia podría deberse al manejo de la parcela ya que en la parcela 9 el abonado fue superior y además se observa en la humedad del suelo simulada que la parcela 9 en la mayoría de los días es mayor que la parcela 10. Las variedades Bokaro y García son las que mayores producciones se han obtenido con la simulación pese a no tener mayores biomasa que el resto de variedades pero una humedad del suelo mayor que el resto de parcelas de trigo.

6.3 Comparación de datos

A continuación se van a comparar las variables estudiadas en cada parcela mediante gráficos que muestran los datos reales y los simulados.

6.3.1 Humedad del suelo

Parcelas de CEBADA

Parcela N° 7:

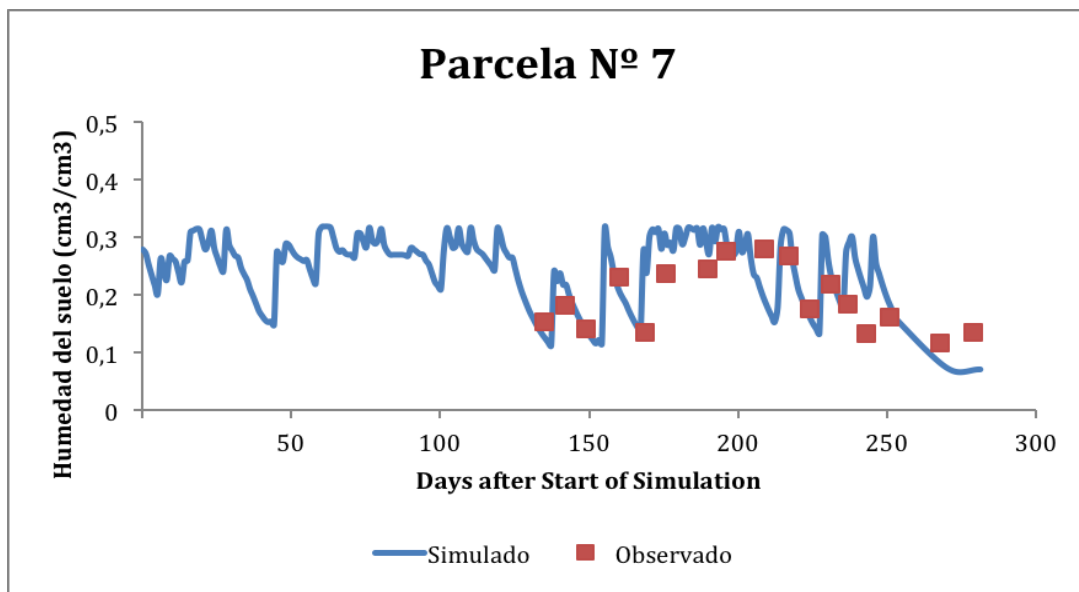


Figura 41. Humedad del suelo parcela N° 7

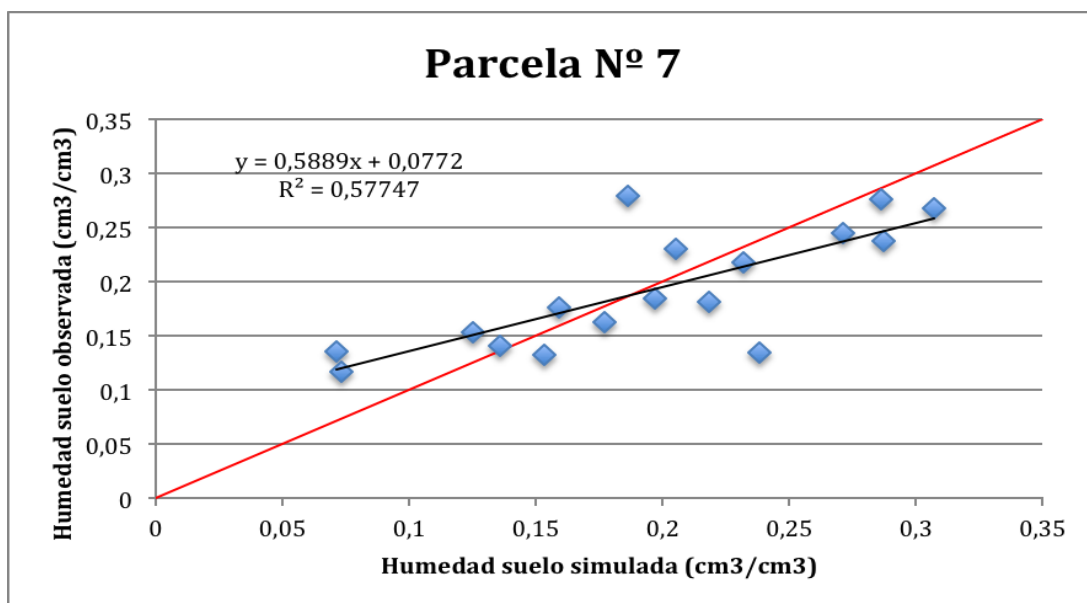


Figura 42. RMSE Humedad del suelo parcela N° 7

RMSE: 0,041 cm³/cm³

Parcela N° 2:

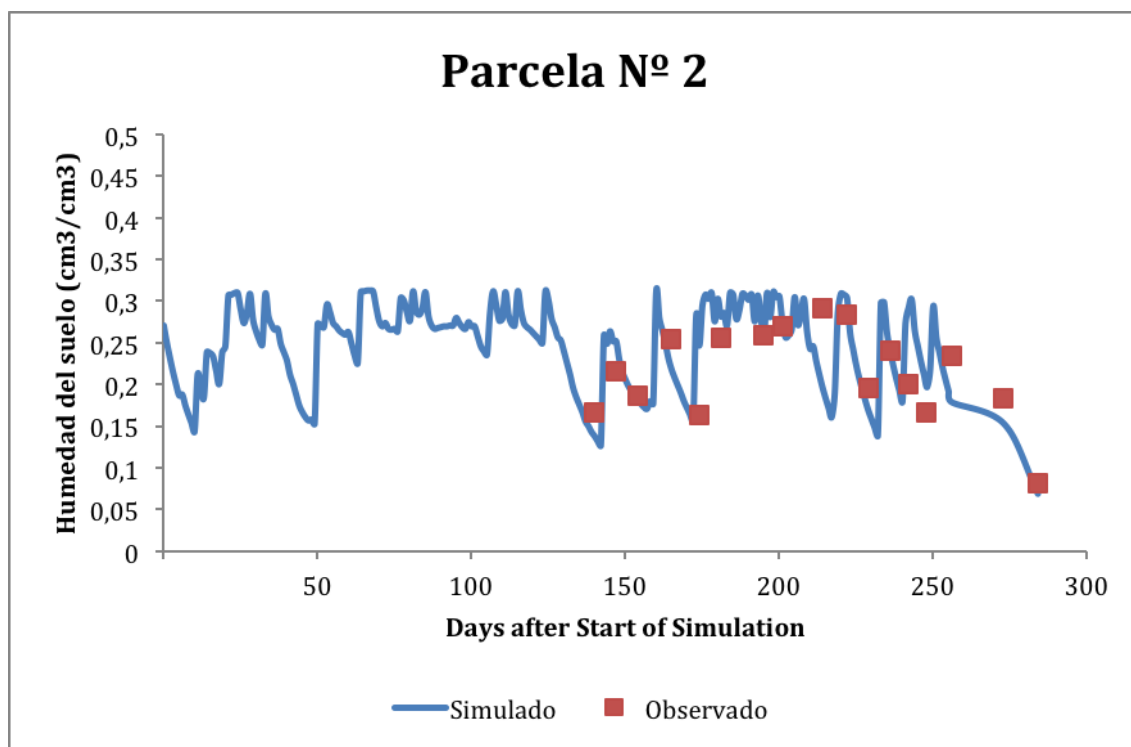


Figura 43. Humedad del suelo parcela N° 2

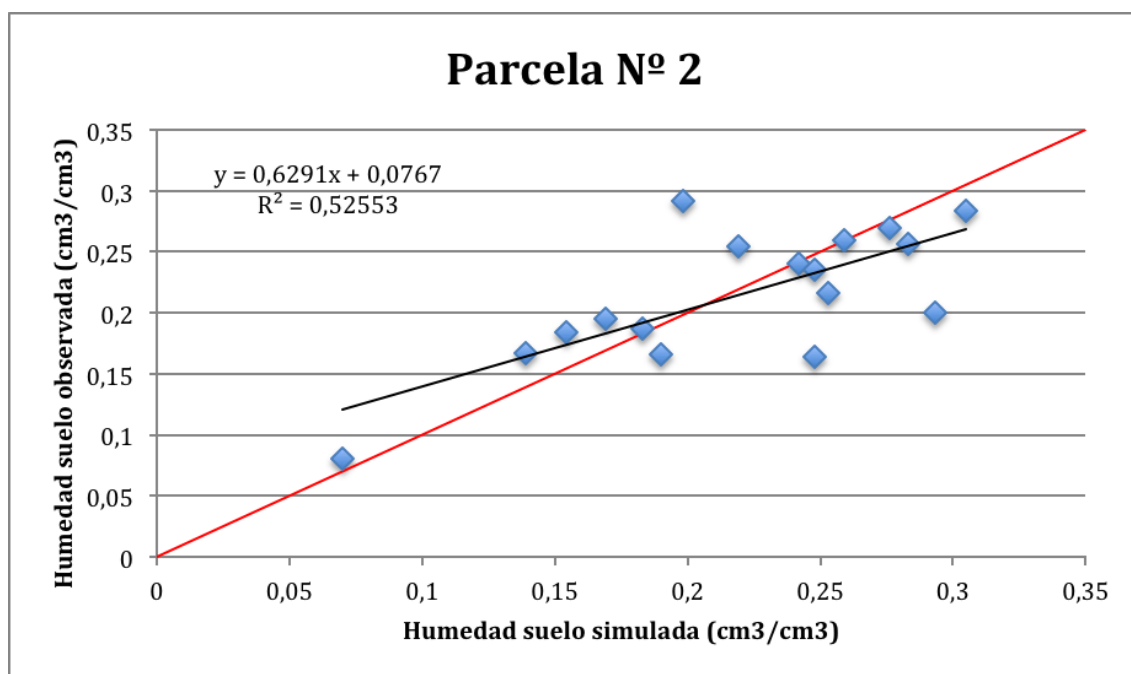


Figura 44. RMSE Humedad del suelo parcela N°2

RMSE: 0,043 cm³/cm³

Parcela N° 3:

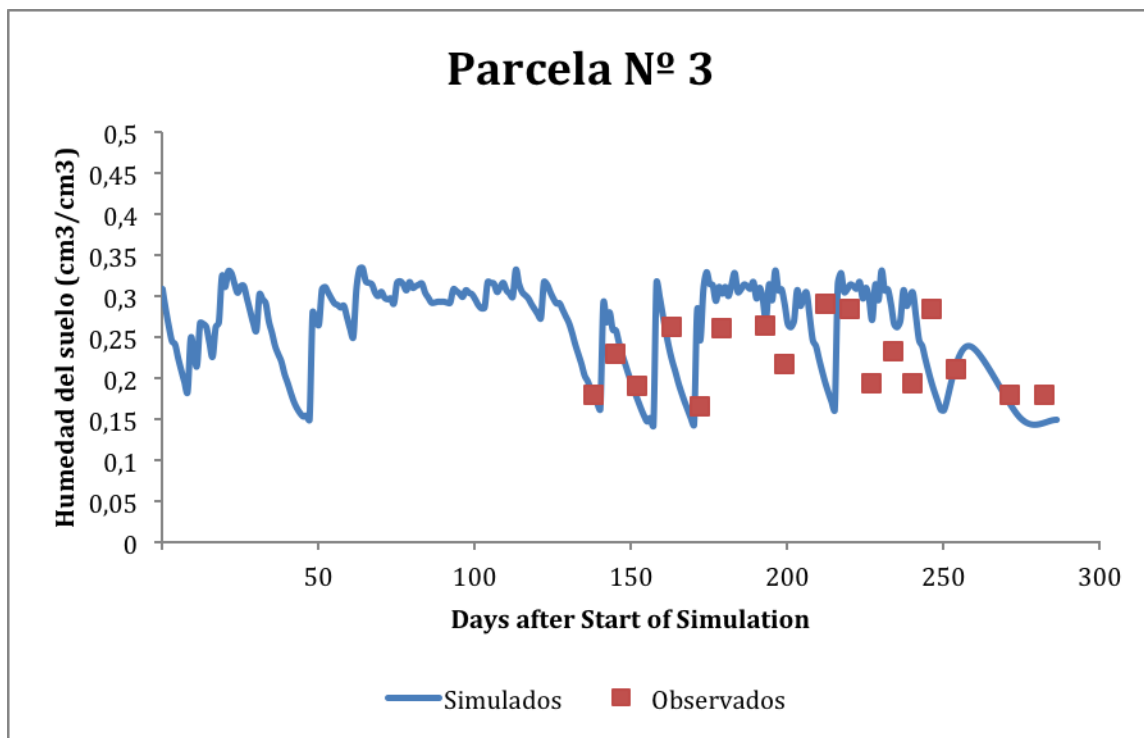


Figura 45. Humedad del suelo parcela N° 3

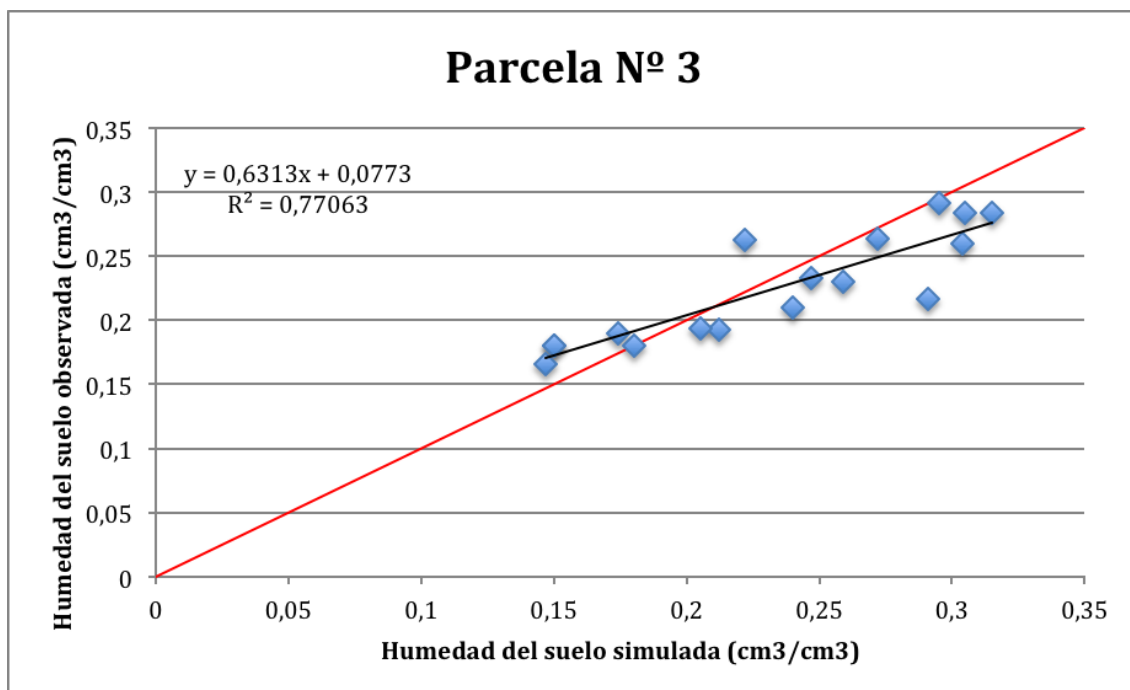


Figura 46. RMSE Humedad del suelo parcela N°3

RMSE: 0,030 cm³/cm³

Parcela N° 5:

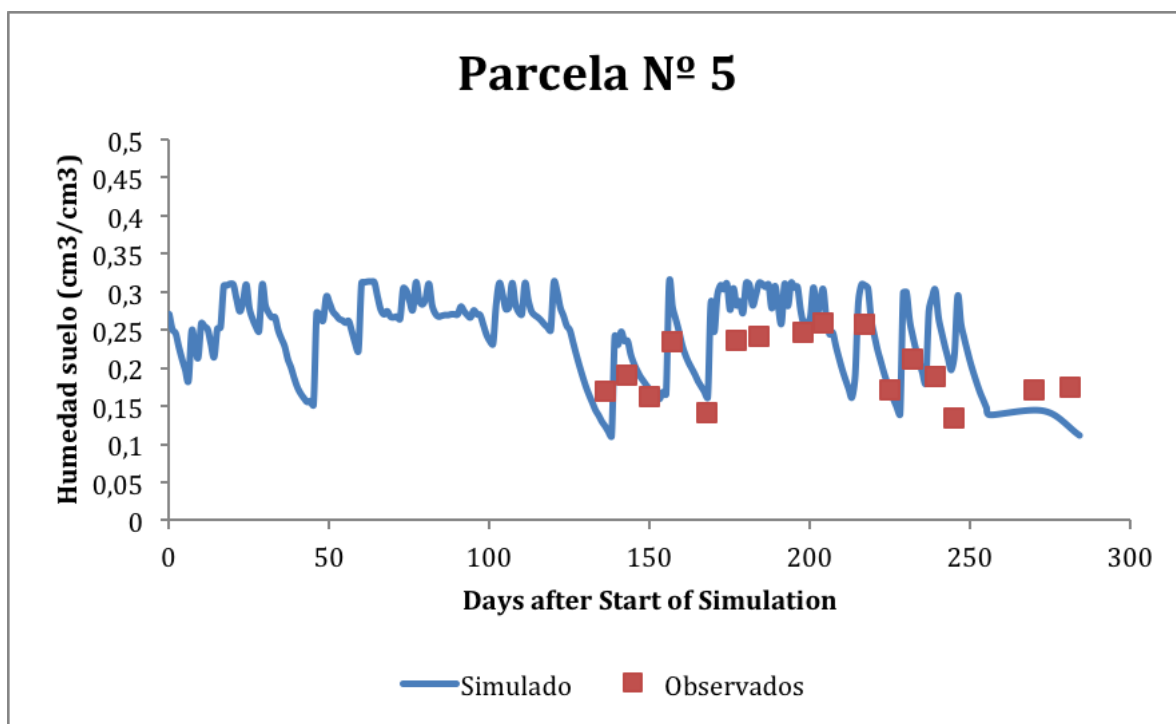


Figura 47. Humedad del suelo parcela N° 5

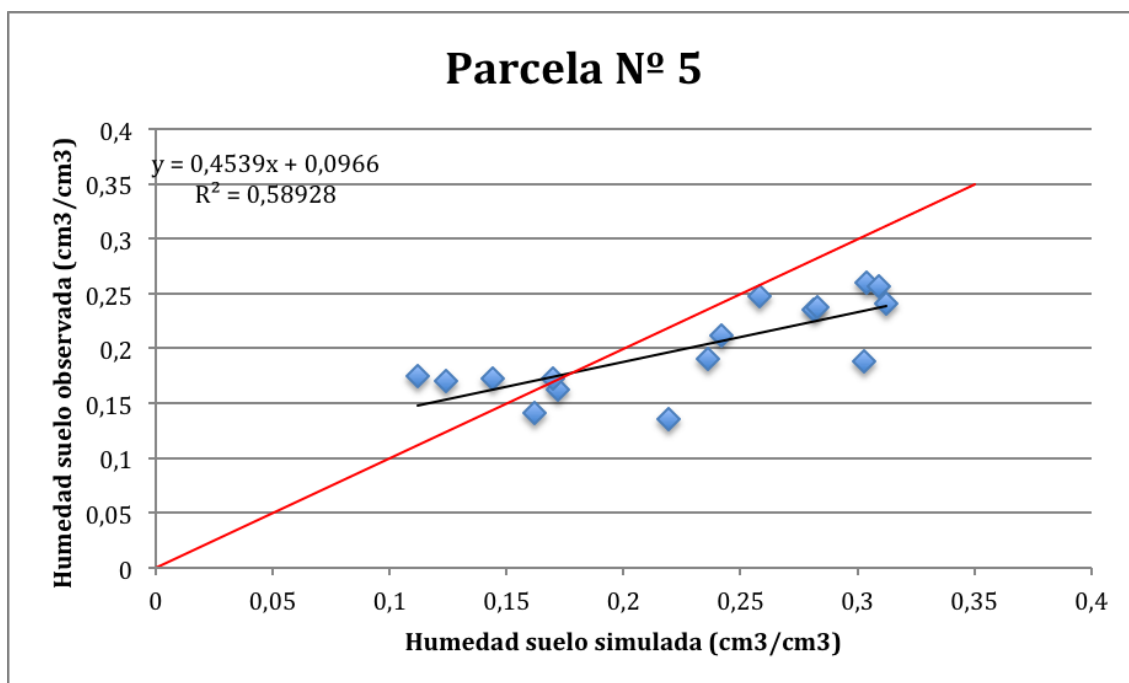


Figura 48. RMSE Humedad del suelo parcela N°5

RMSE: $0,058 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

Parcela N° 8:

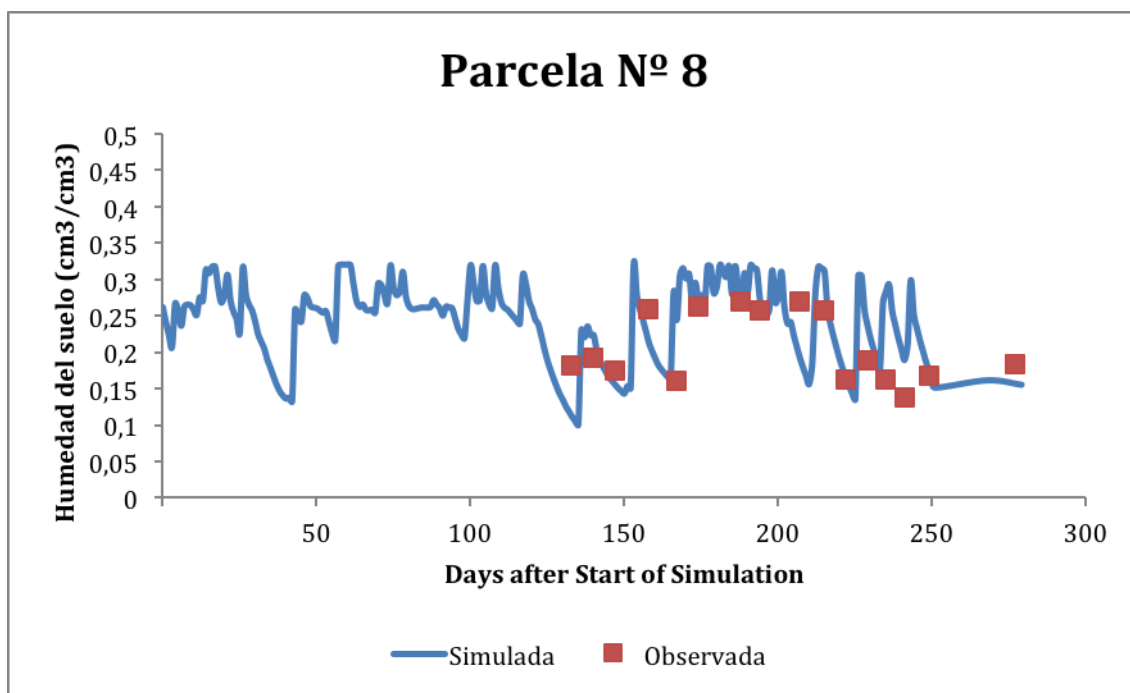


Figura 49. Humedad del suelo parcela N° 8

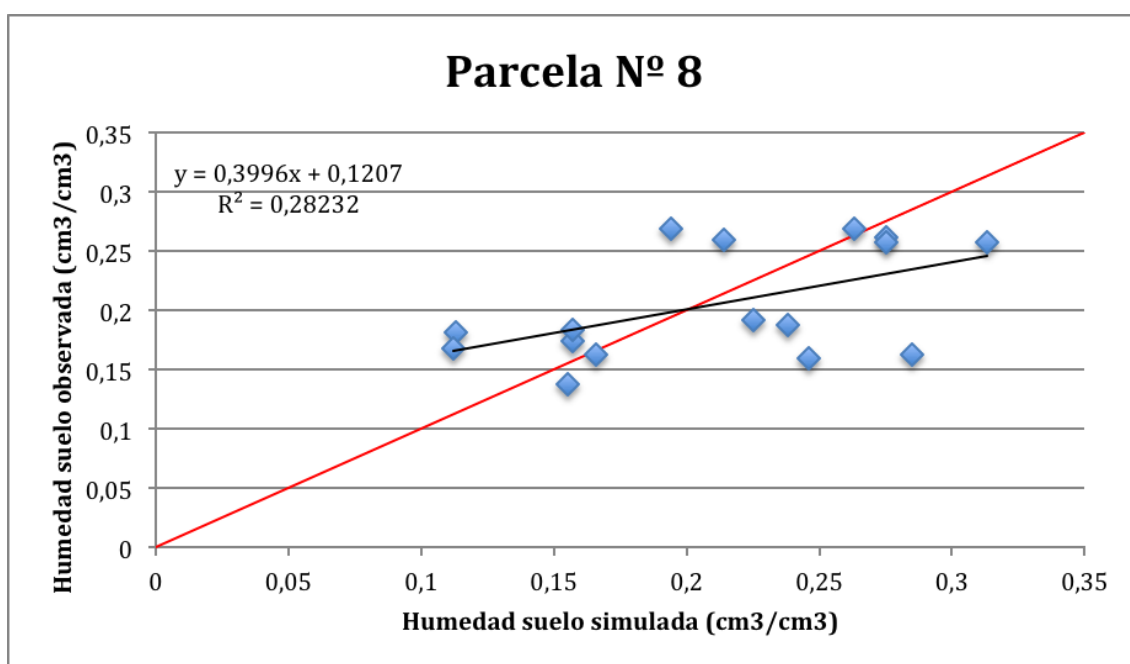


Figura 50. RMSE Humedad del suelo parcela N°8

RMSE: $0,059 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

Parcelas de TRIGO BLANDO

Parcela N° 1:

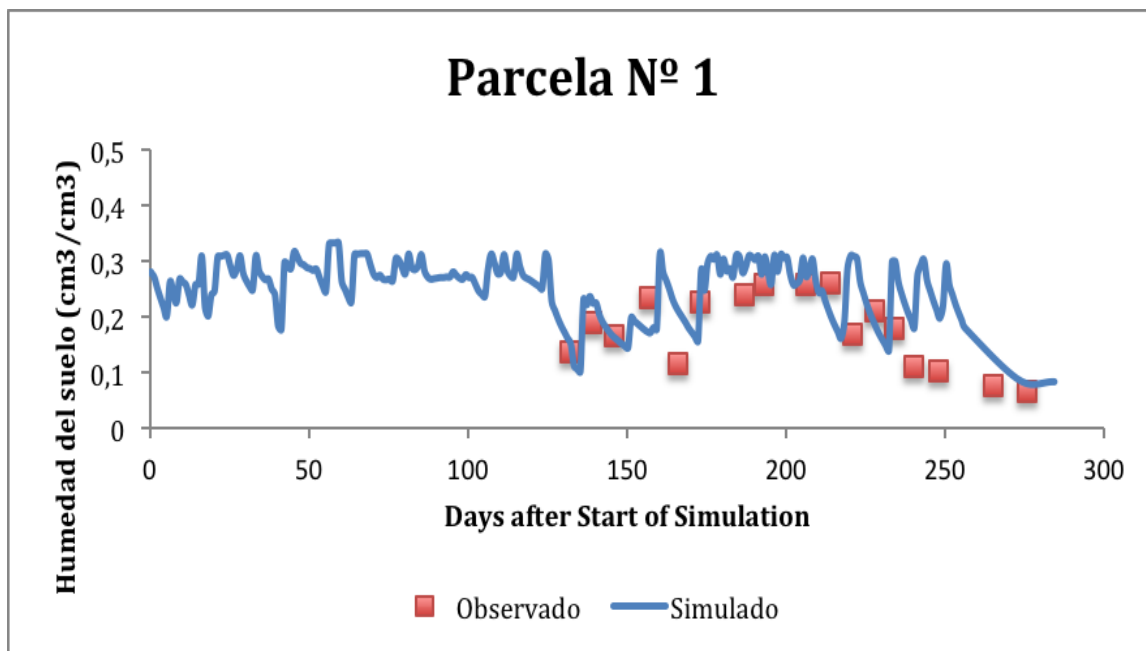


Figura 51. Humedad del suelo parcela N° 1

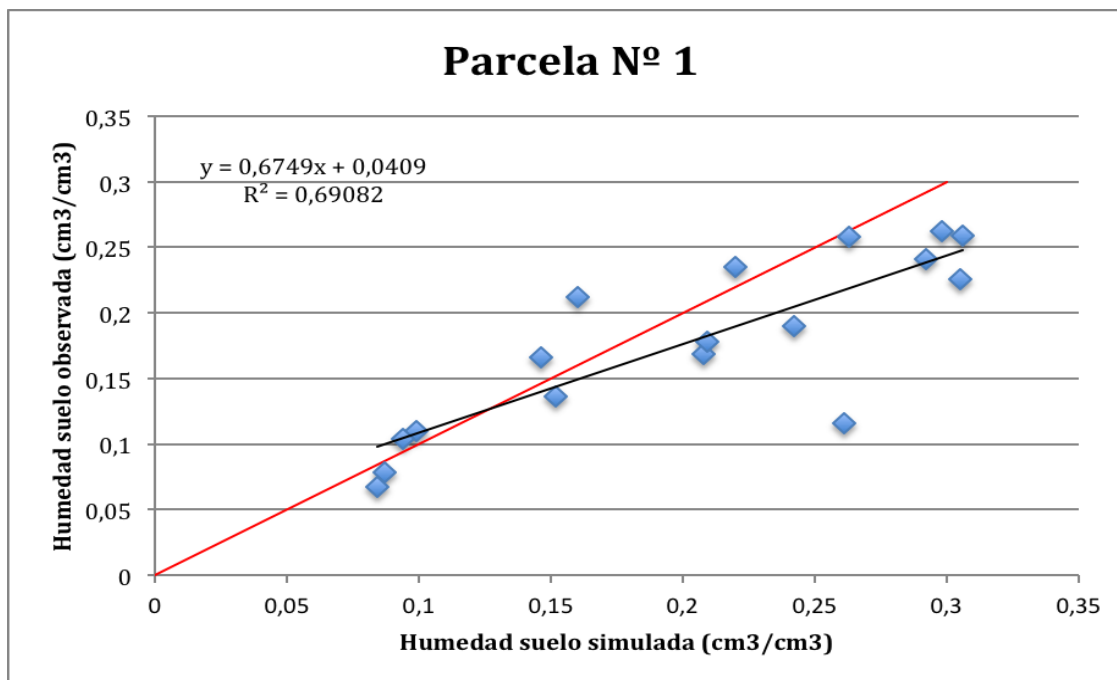


Figura 52. RMSE Humedad del suelo parcela N°1

RSME: 0,050 cm³/cm³

Parcela N° 4:

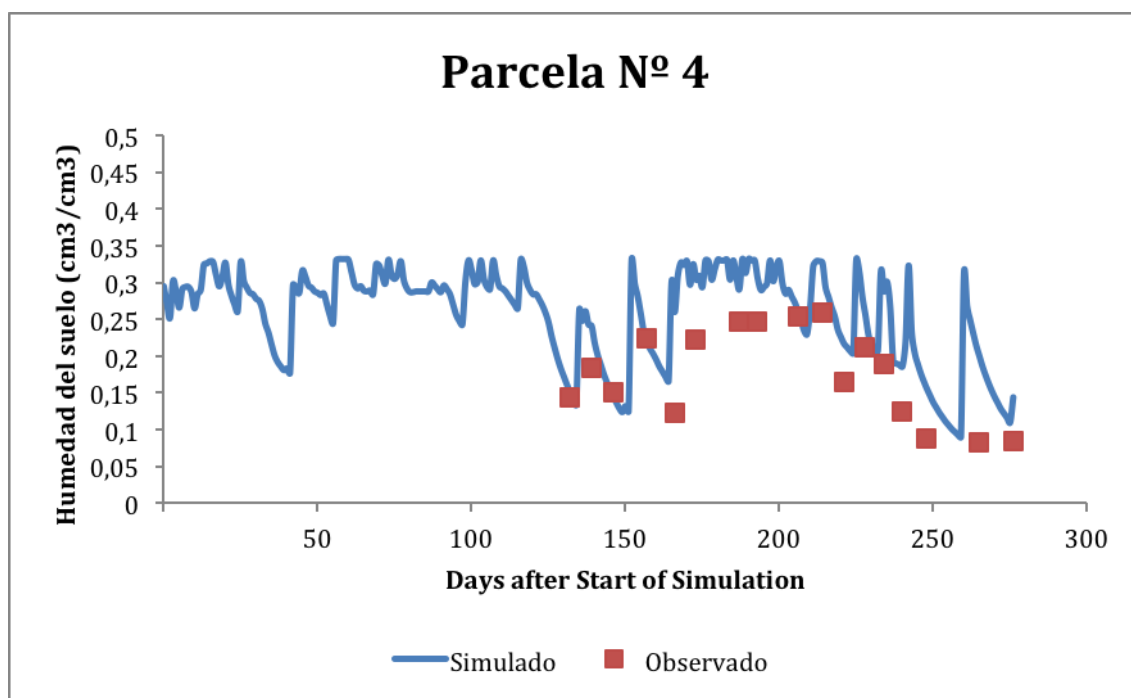


Figura 53. Humedad del suelo parcela N° 4

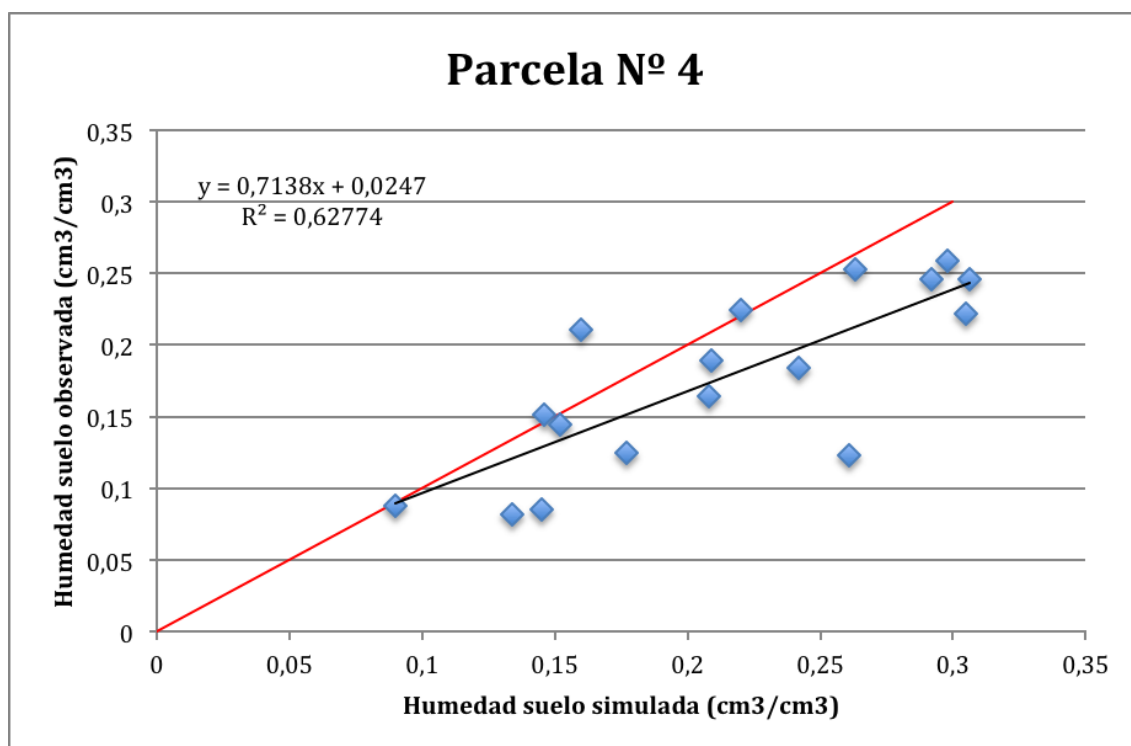


Figura 54. RMSE Humedad del suelo parcela N°4

RMSE: 0,054 cm³/cm³

Parcela N° 6:

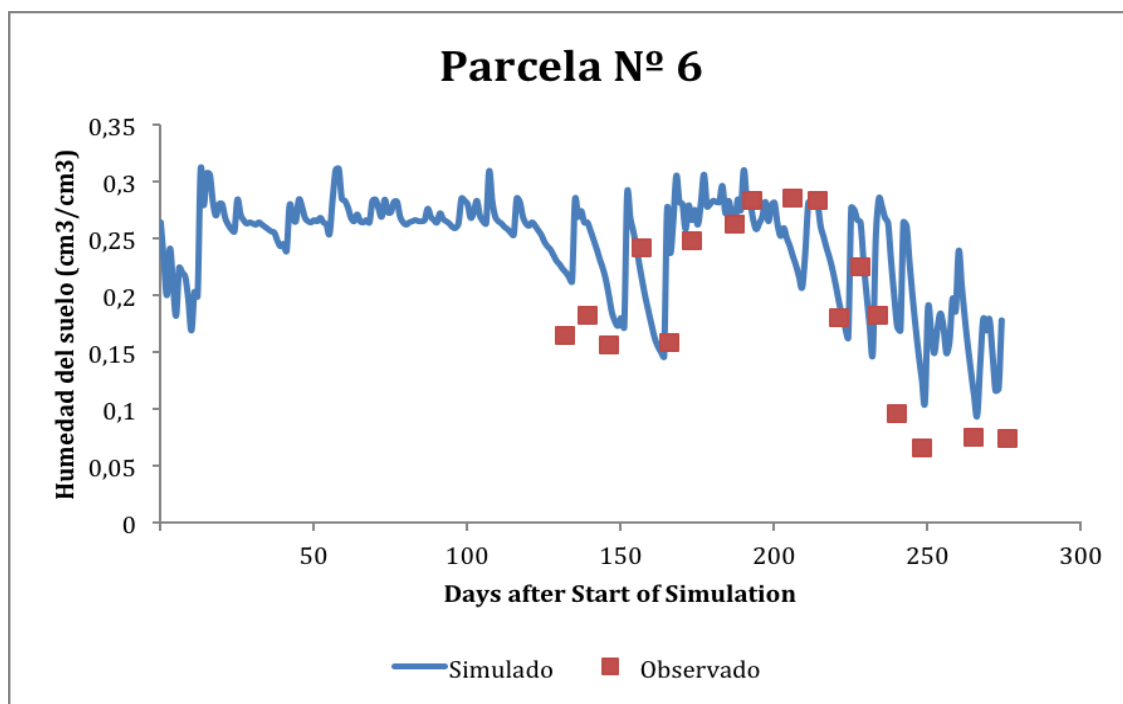


Figura 55. Humedad del suelo parcela N° 6

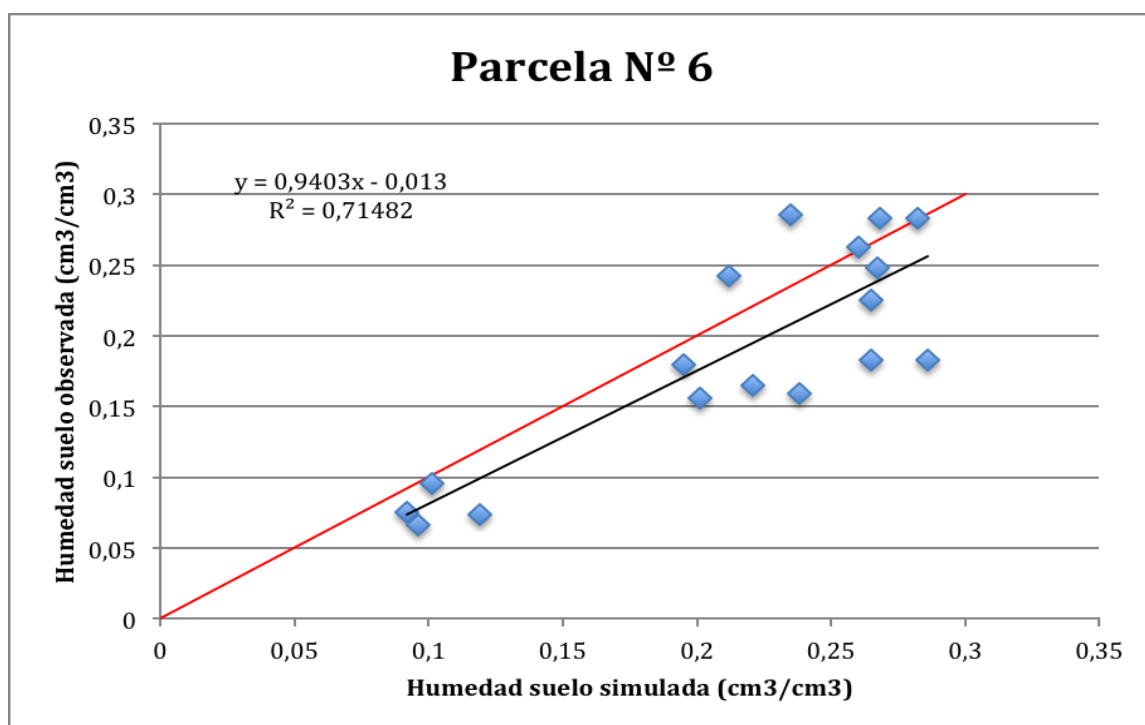


Figura 56. RMSE Humedad del suelo parcela N°6

RMSE: 0,046 cm³/cm³

Parcela N° 9:

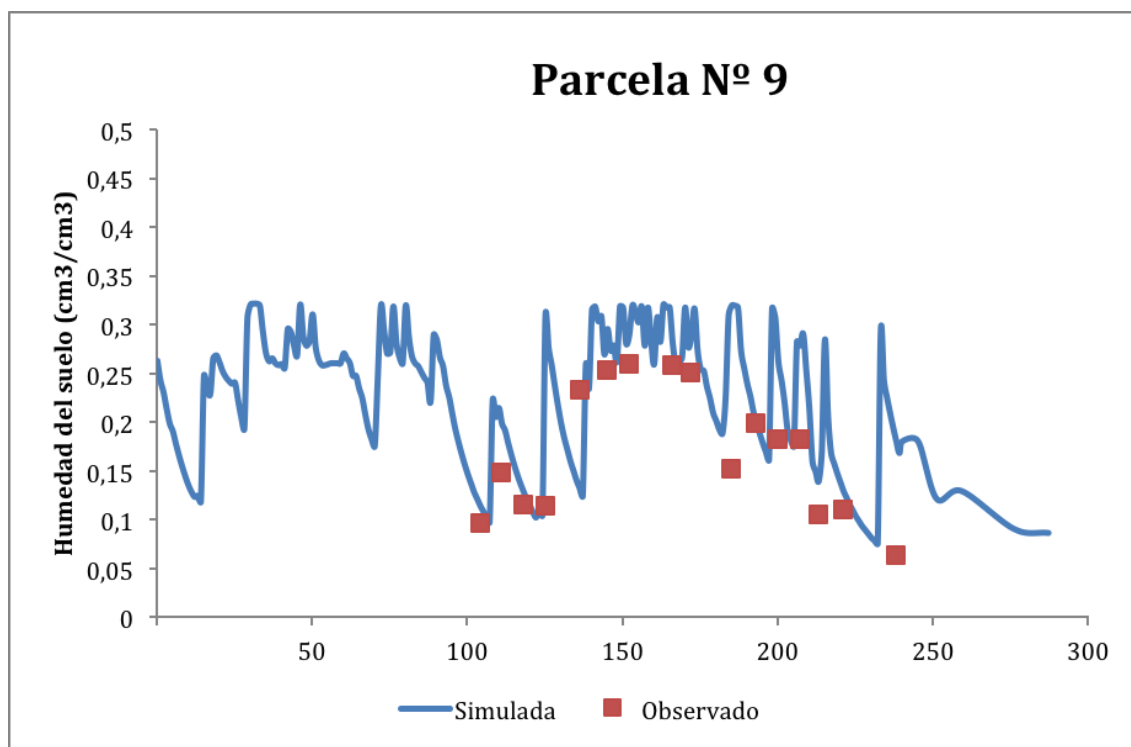


Figura 57. Humedad del suelo parcela N° 9

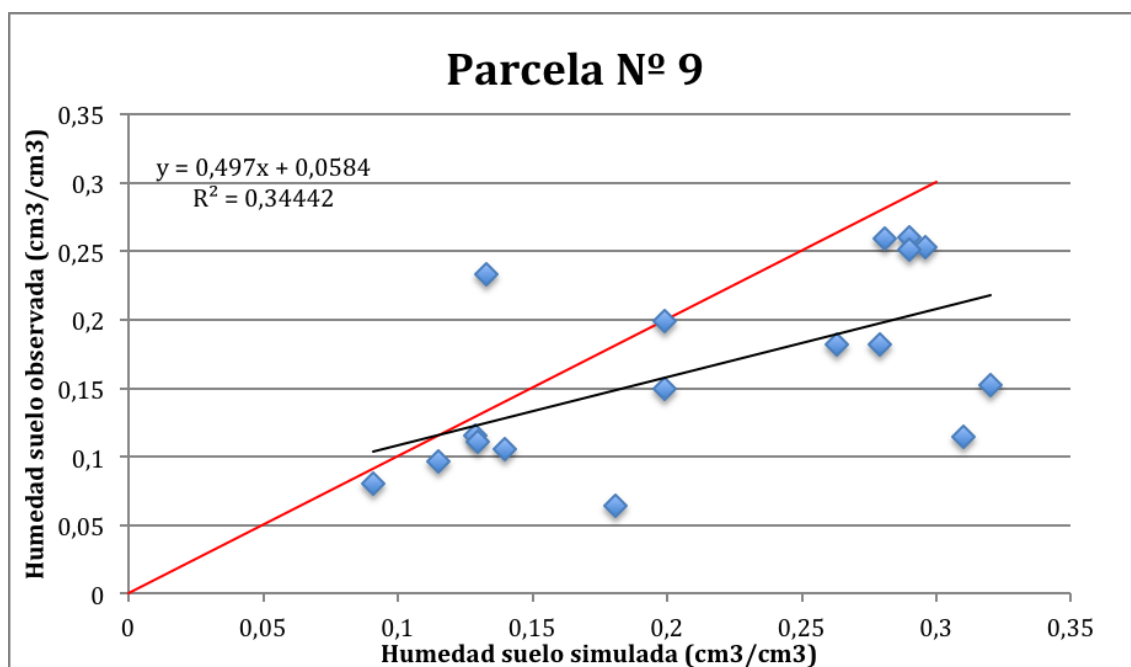


Figura 58. RMSE Humedad del suelo parcela N°9

RMSE: 0,094 cm³/cm³

Parcela N° 10:

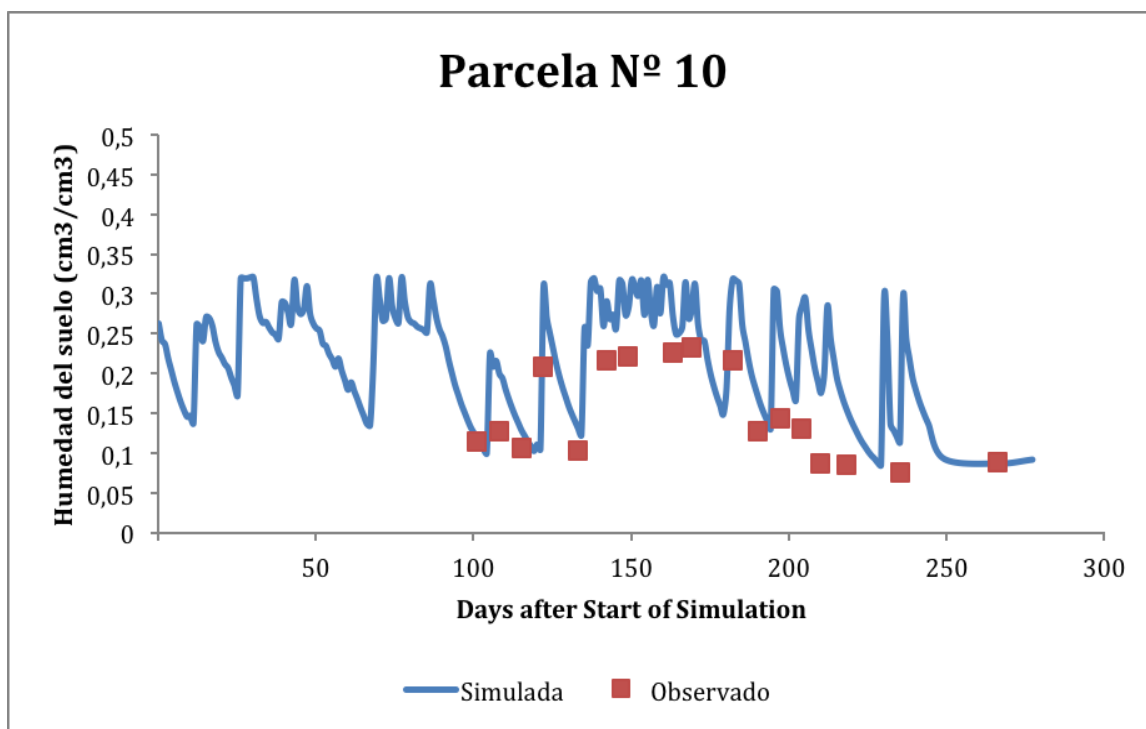


Figura 59. Humedad del suelo parcela N° 10

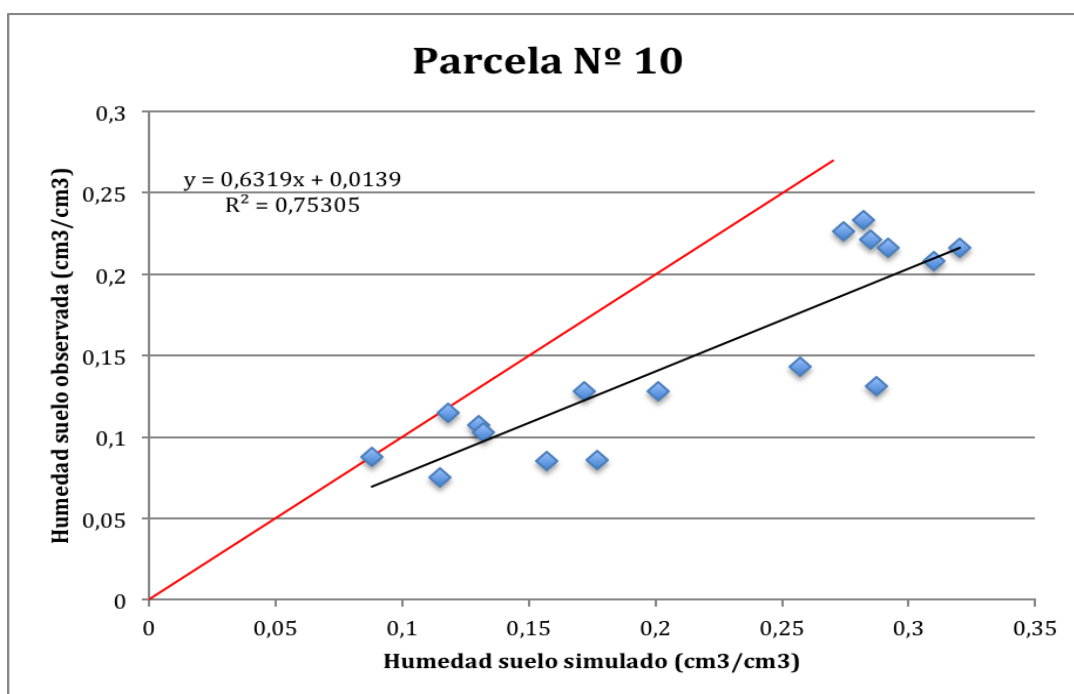


Figura 60. RMSE Humedad del suelo parcela N°10

RMSE: 0,027 cm³/cm³

Resumen general:

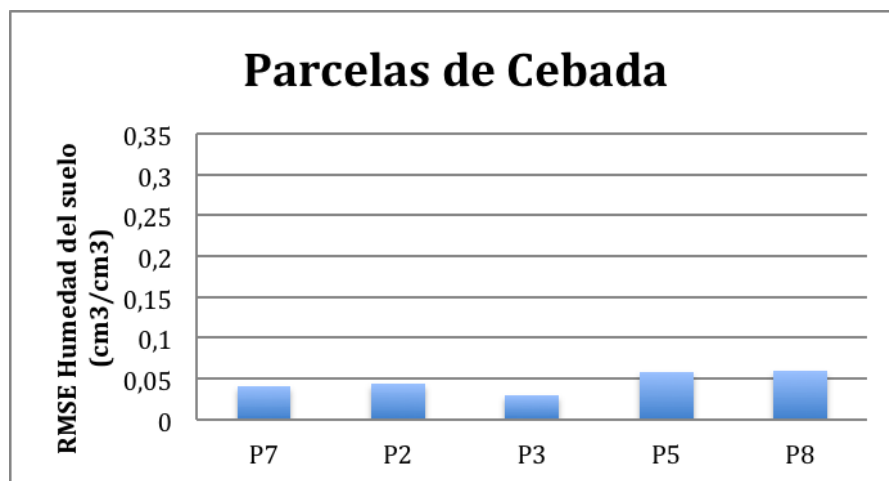


Figura 61. RMSE Humedad del suelo parcelas Cebada

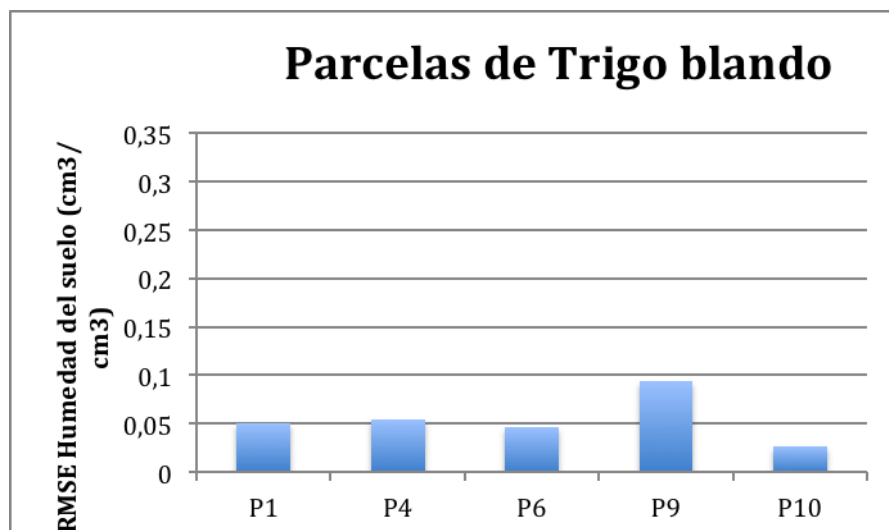


Figura 62. RMSE Humedad del suelo parcelas de Trigo blando

En las cebadas, las que presentan mayor error son dos parcelas de Meseta, siendo el menor una parcela con esta misma variedad.

En los trigos, el error mayor se encuentra en la parcela de Berdún, siendo contradictorio que el menor sea la otra parcela de éste mismo cereal.

Estas contradicciones de encontrar el menor y mayor error en la misma variedad de trigo y cebada, puede deberse a la inclinación de la parcela y a la zona donde se haya muestreado.

En la parcela de Berdún, la mayor diferencia se observa en el mes de febrero, mientras que en las parcelas de Meseta las mayores diferencias se observan en los meses de marzo y abril.

6.3.2 Fenología

Parcela N° 7:

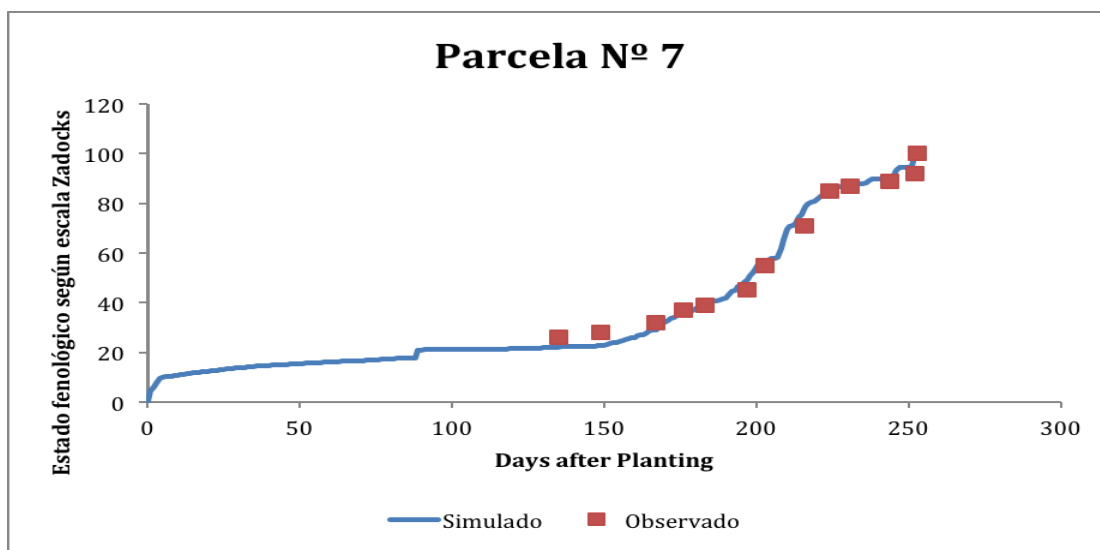


Figura 63. Fenología parcela N° 7

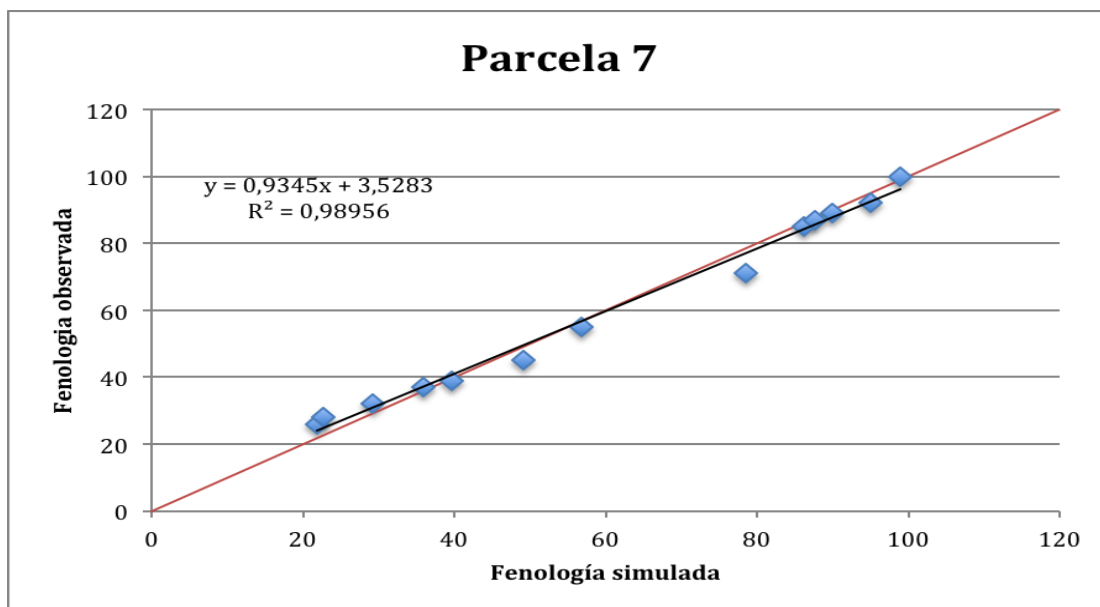


Figura 64. RMSE Fenología parcela N° 7

RMSE: 3,485

Parcela N°2:

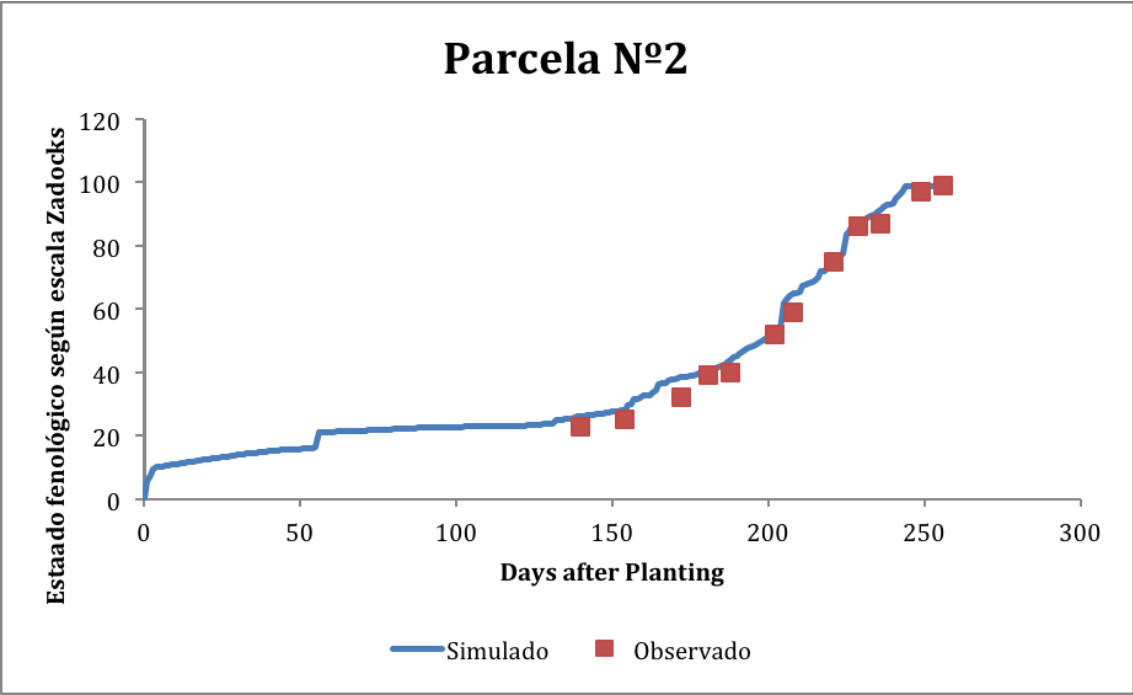


Figura 65. Fenología parcela N° 2

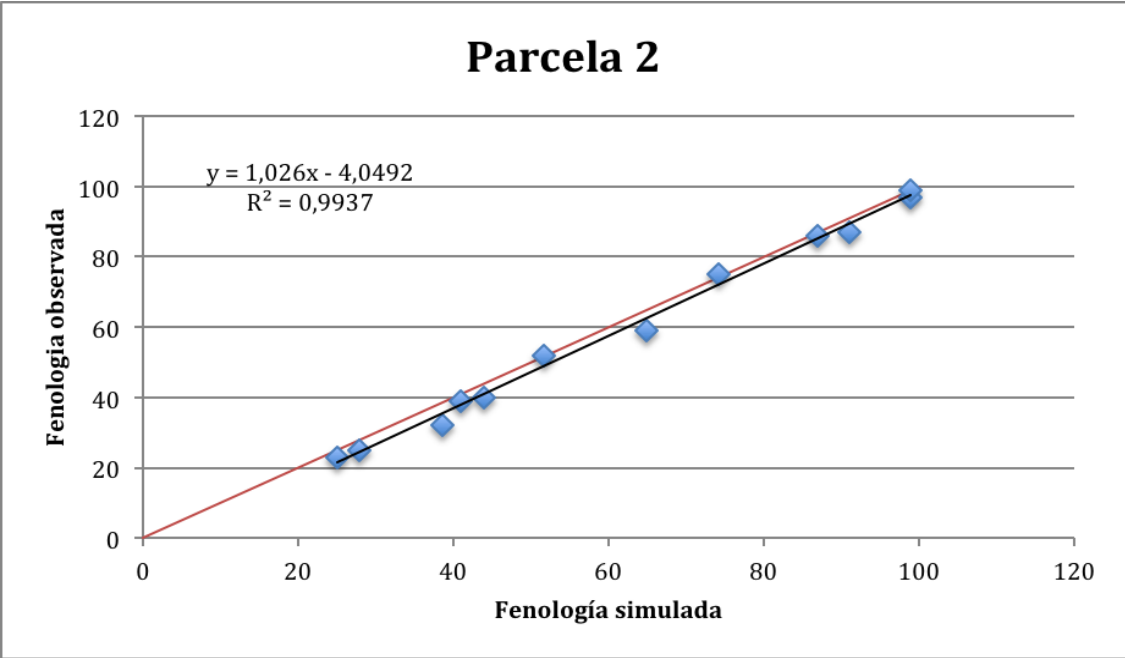


Figura 66. RMSE Fenología parcela N° 2

RMSE: 3,665

Parcela N° 3:

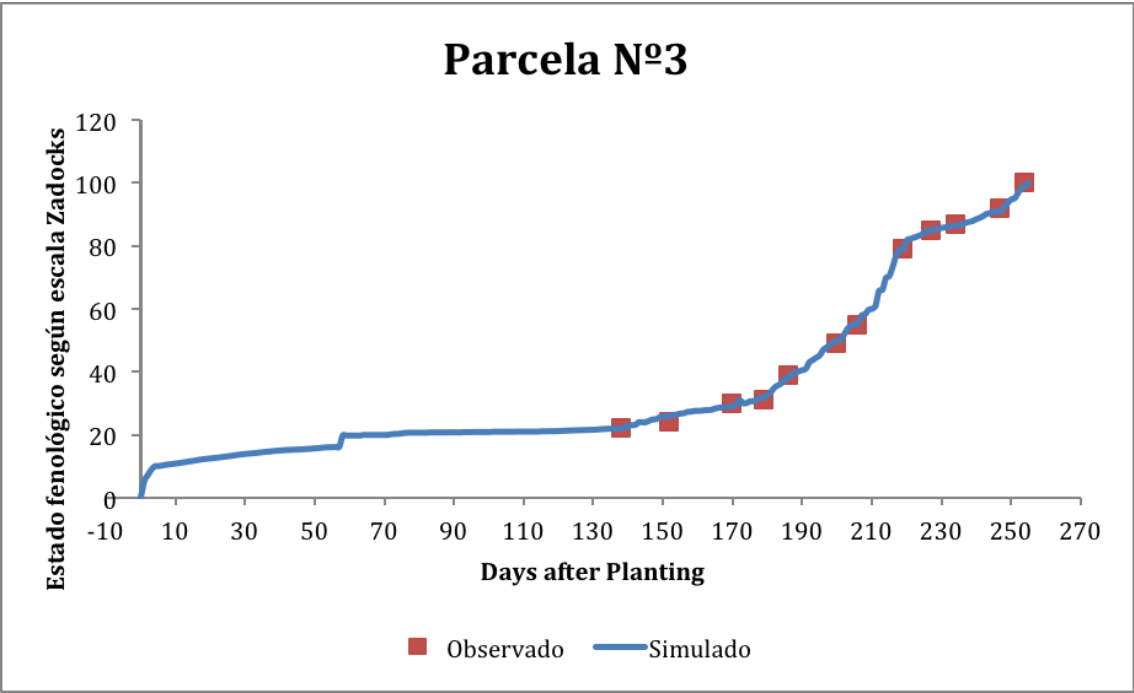


Figura 67. Fenología parcela N° 3

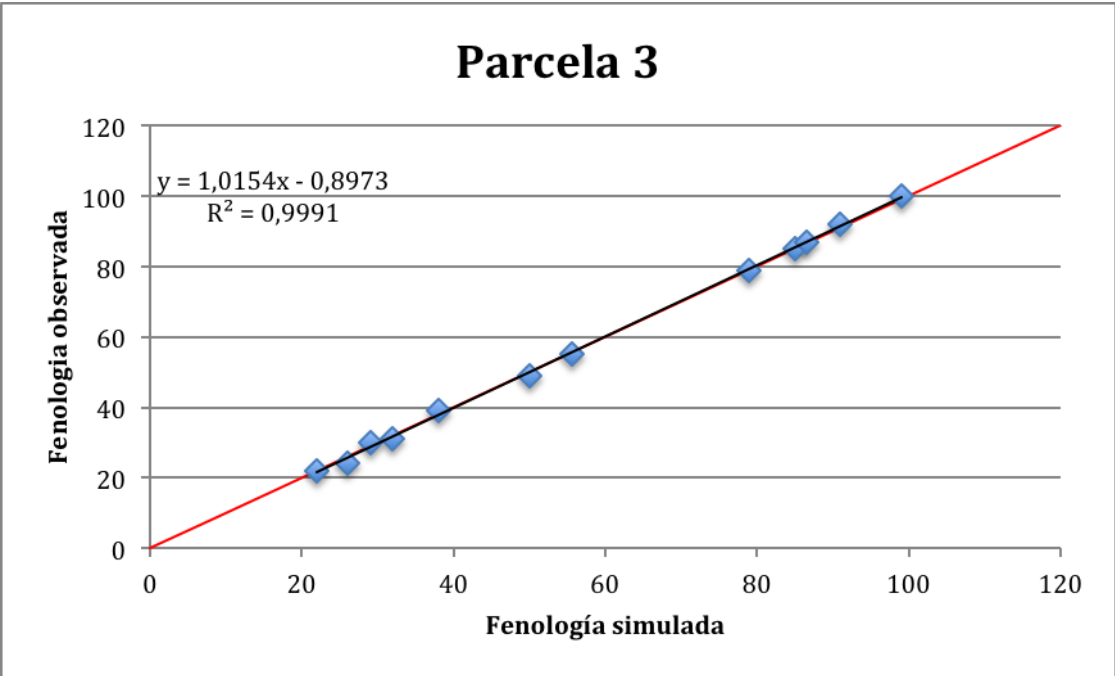


Figura 68. RMSE Fenología parcela N° 3

RMSE: 1,195

Parcela N° 5:

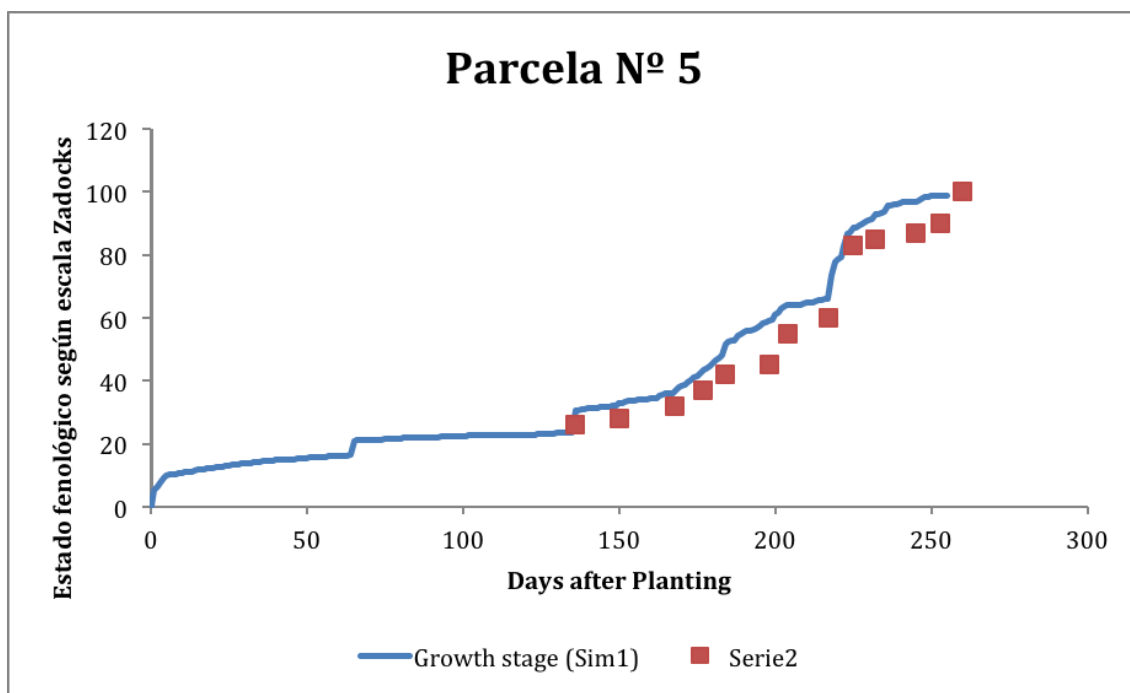


Figura 69. Fenología parcela N° 5

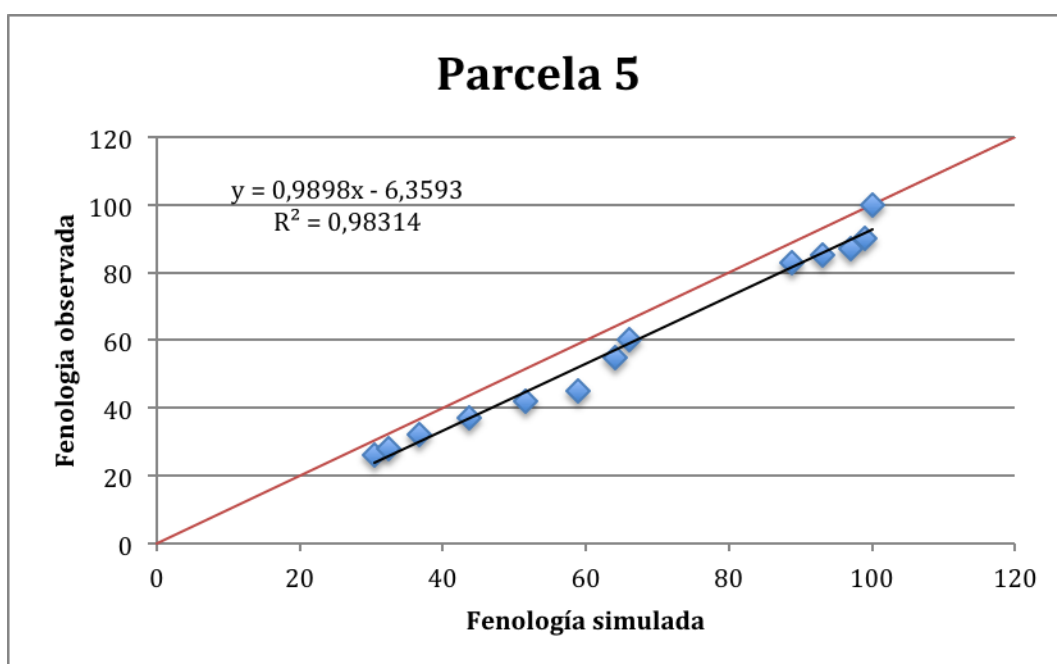


Figura 70. RMSE Fenología parcela N° 5

RMSE: 6,985

Parcela N° 8:

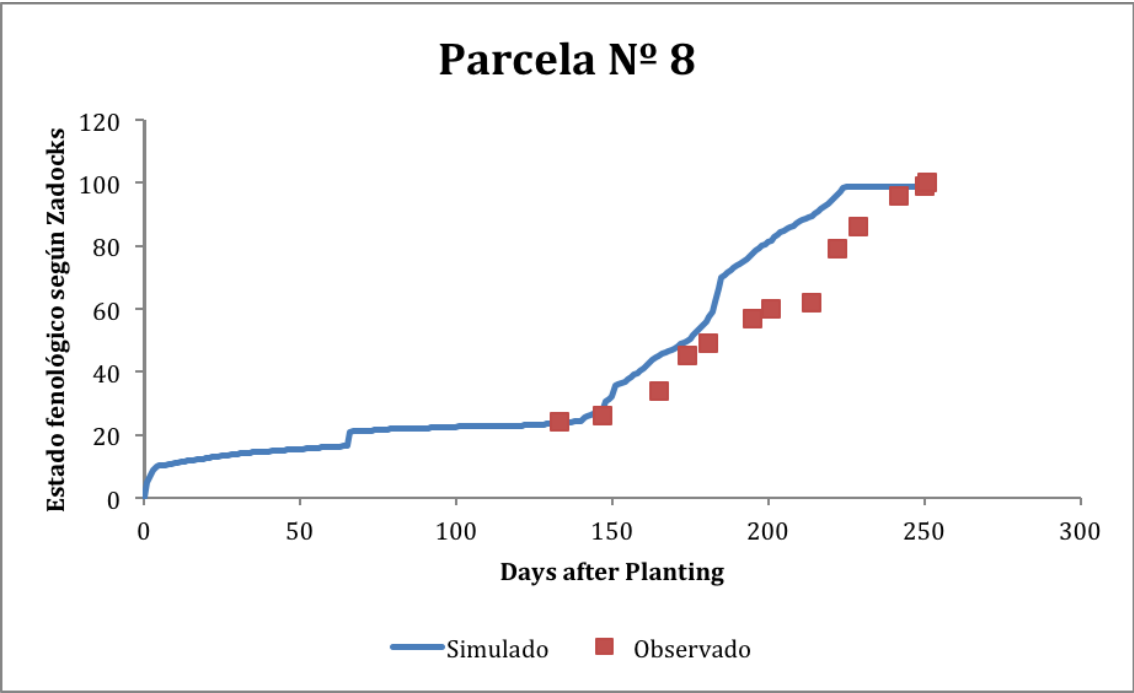


Figura 71. Fenología parcela N° 8

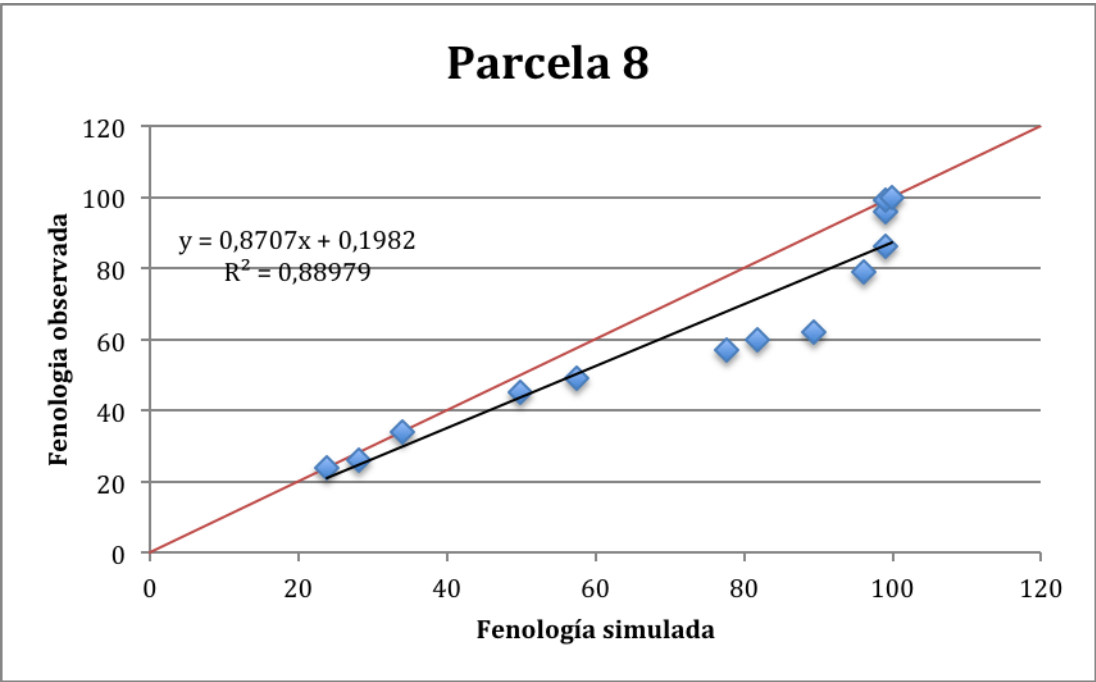


Figura 72. RMSE Fenología parcela N° 8

RMSE: 5,713

Parcelas de TRIGO BLANDO

Parcela N°1:

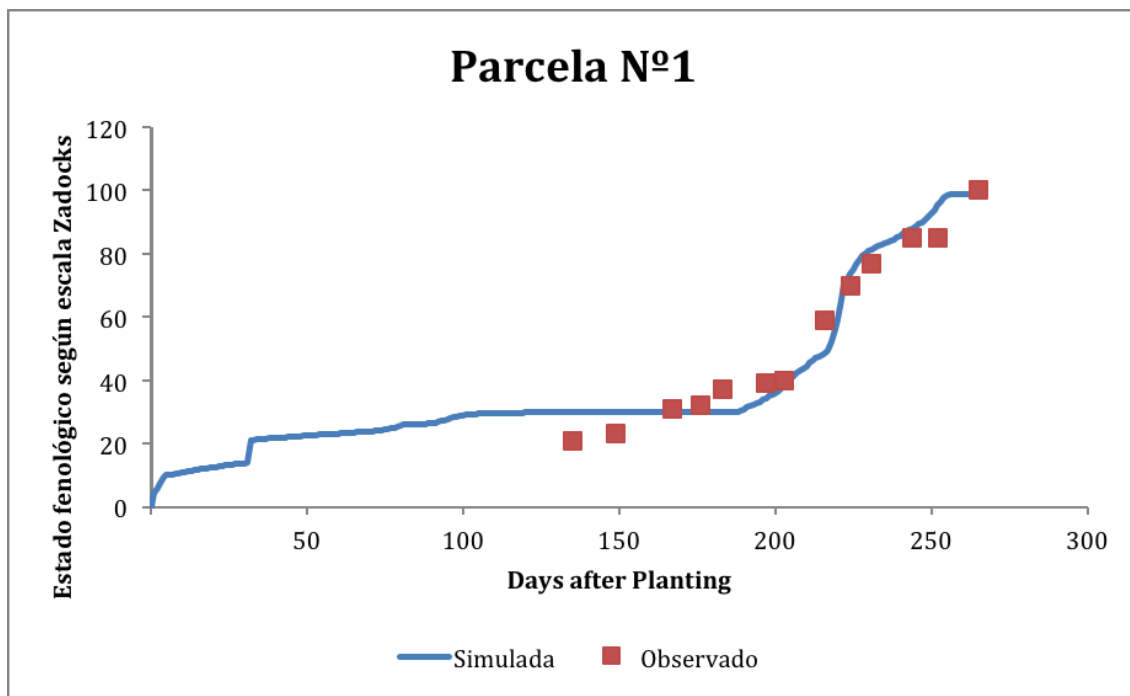


Figura 73. Fenología parcela N° 1

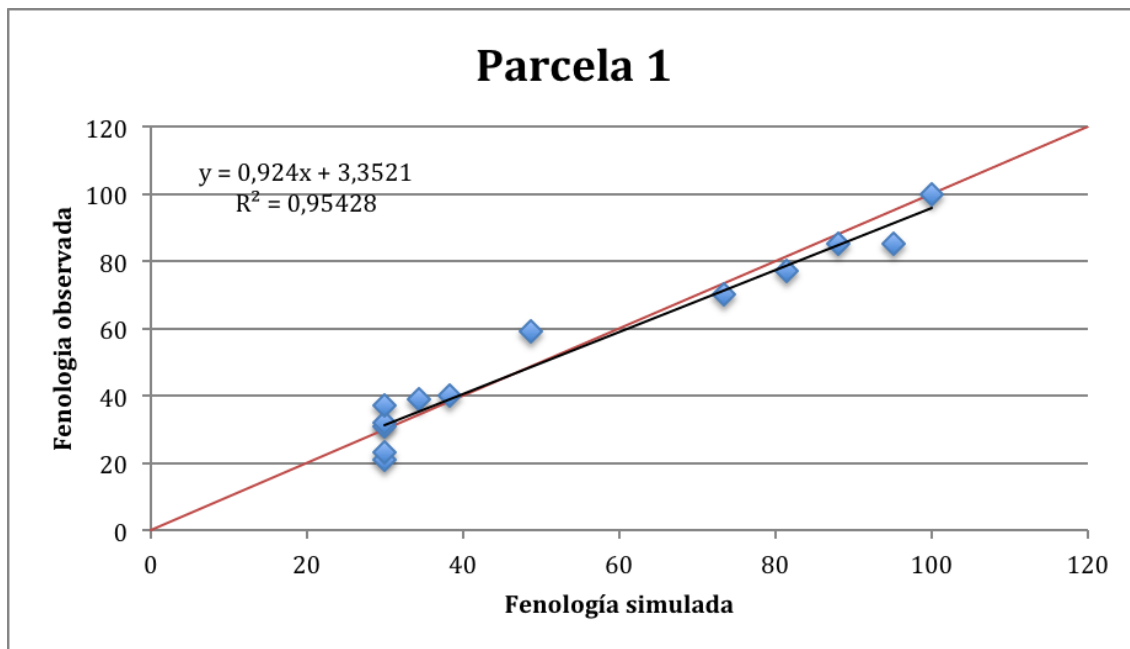


Figura 74. RMSE Fenología parcela N° 1

RMSE: 5,581

Parcela N° 4:

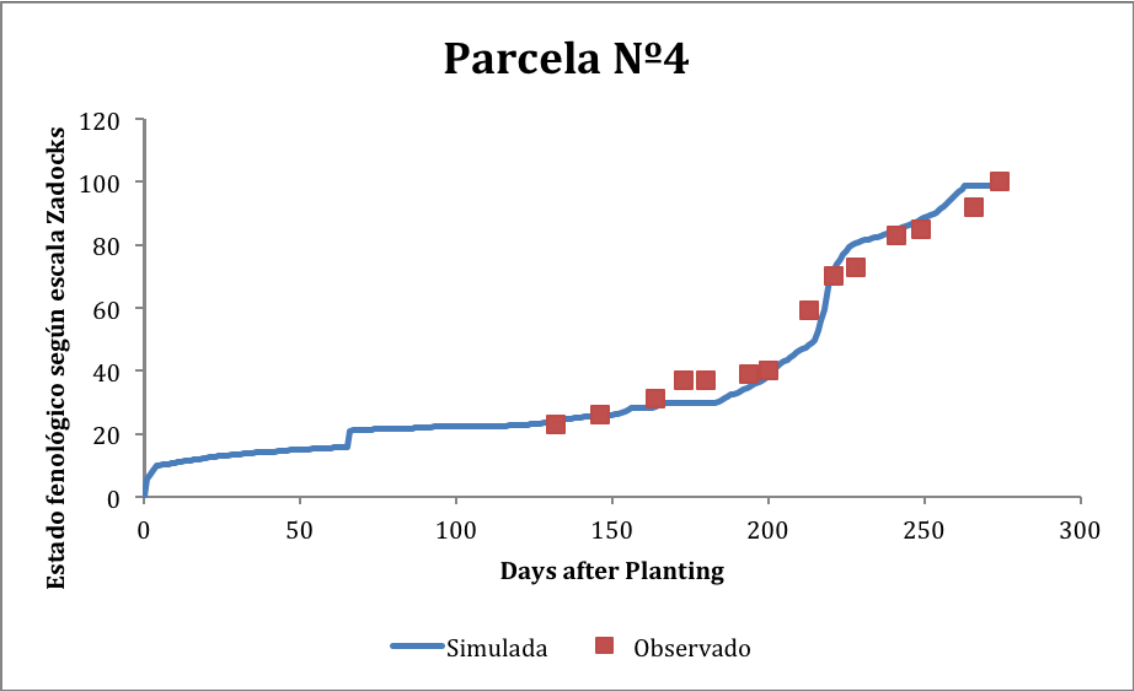


Figura 75. Fenología parcela N° 4

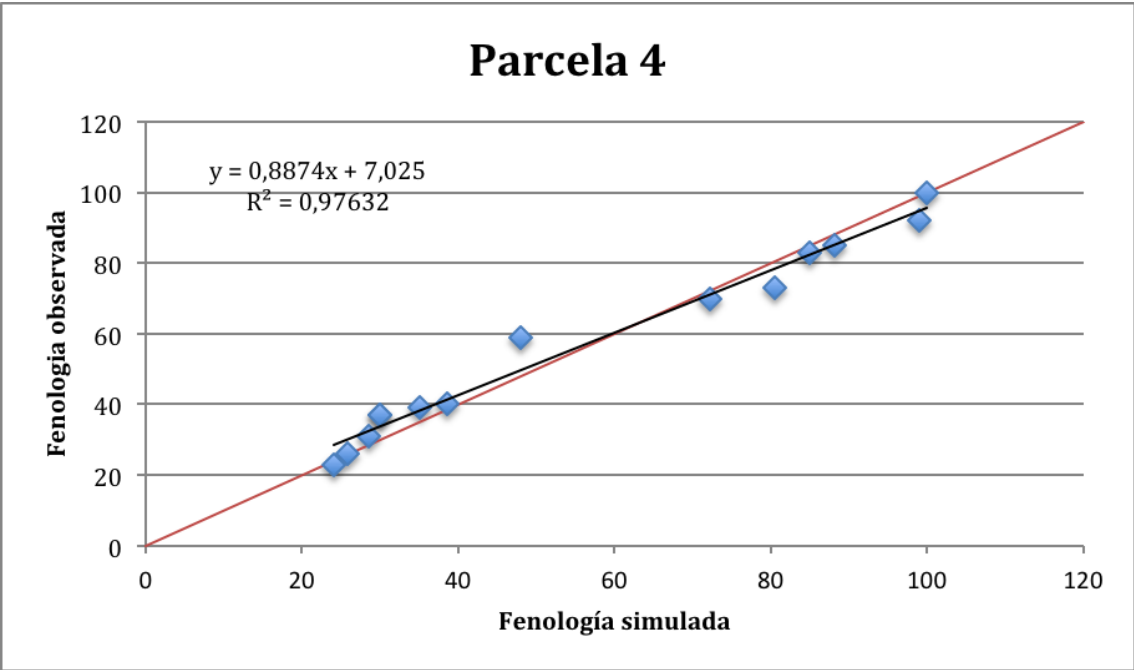


Figura 76. RMSE Fenología parcela N° 4

RMSE: 5,127

Parcela N° 6:

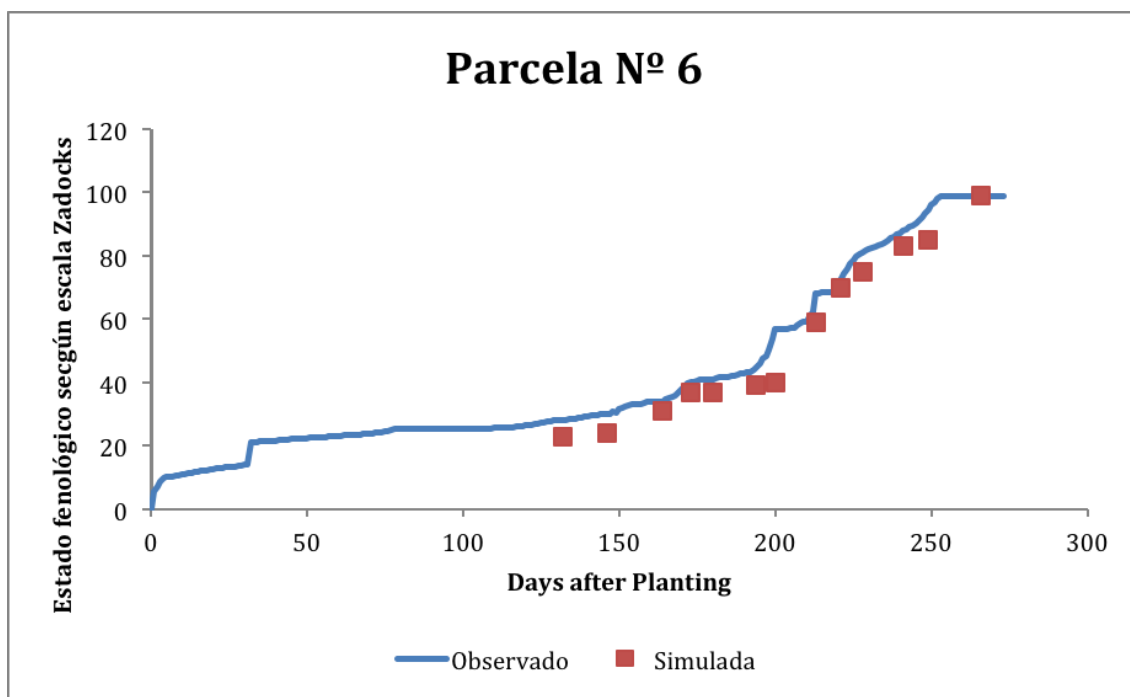


Figura 77. Fenología parcela N° 6

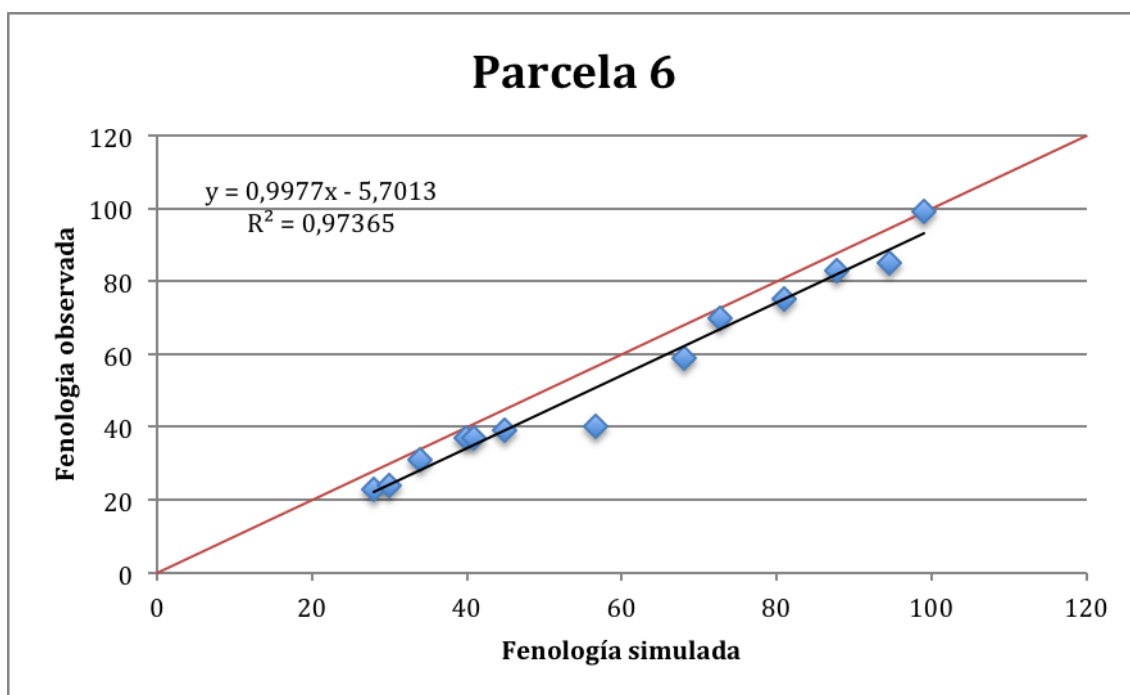


Figura 78. RMSE Fenología parcela N° 6

RMSE: 7,061

Parcela N° 9:

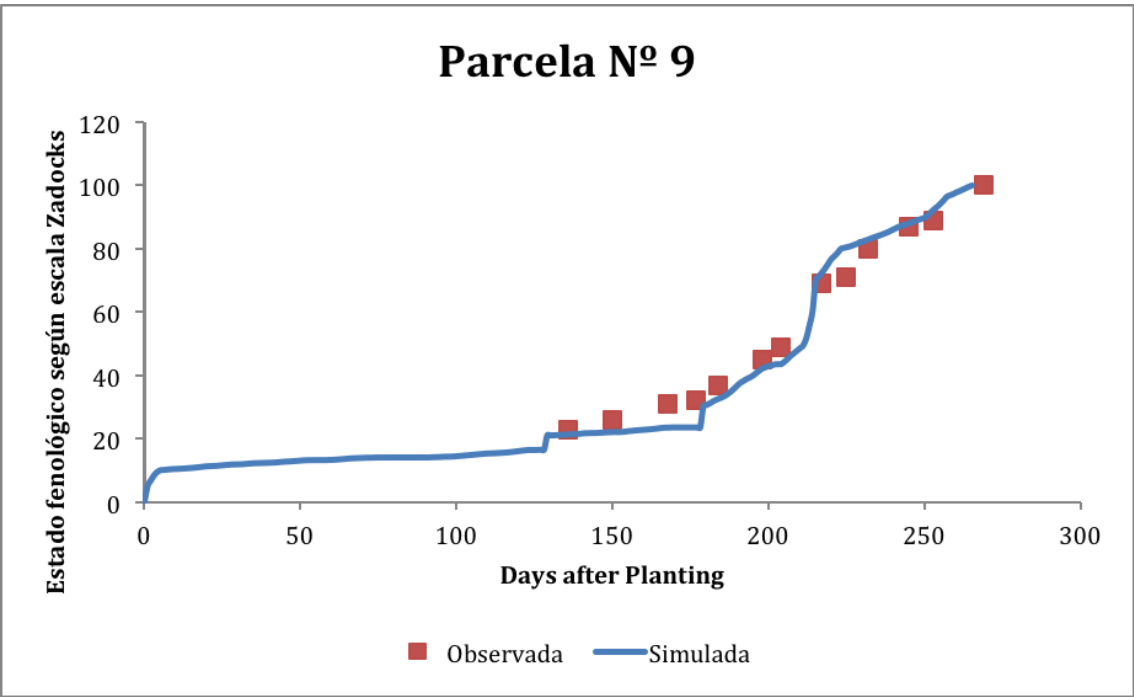


Figura 79. Fenología parcela N° 9

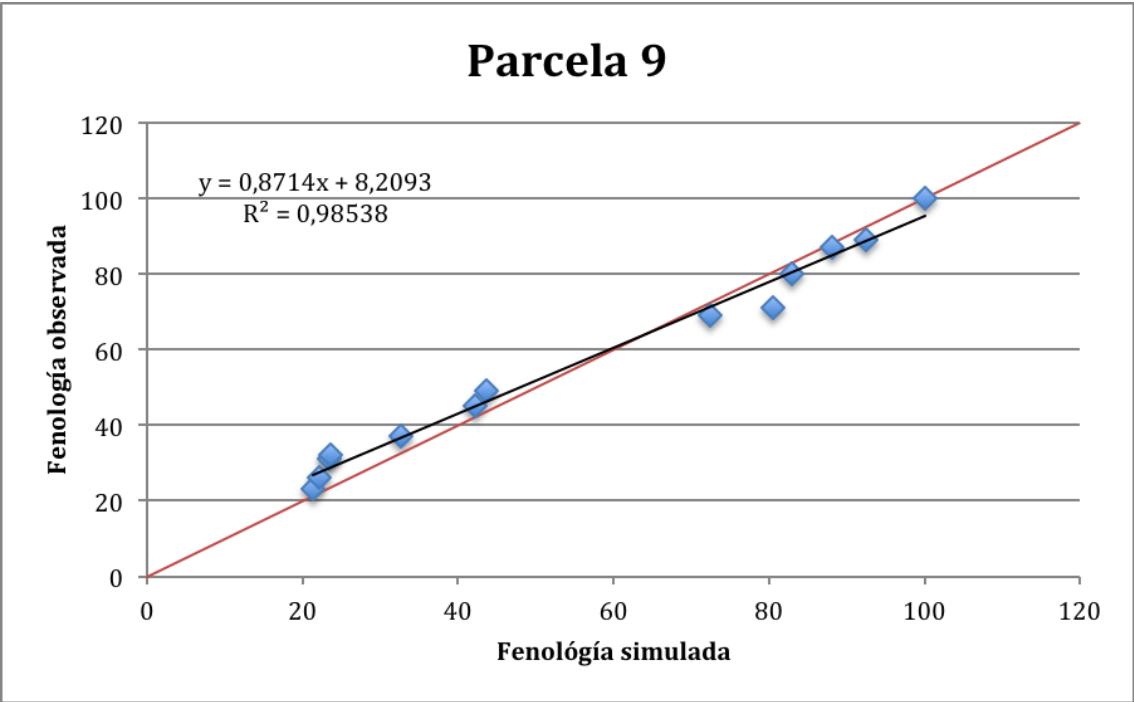


Figura 80. RMSE Fenología parcela N° 9

RMSE: 4,728

Parcela N° 10:

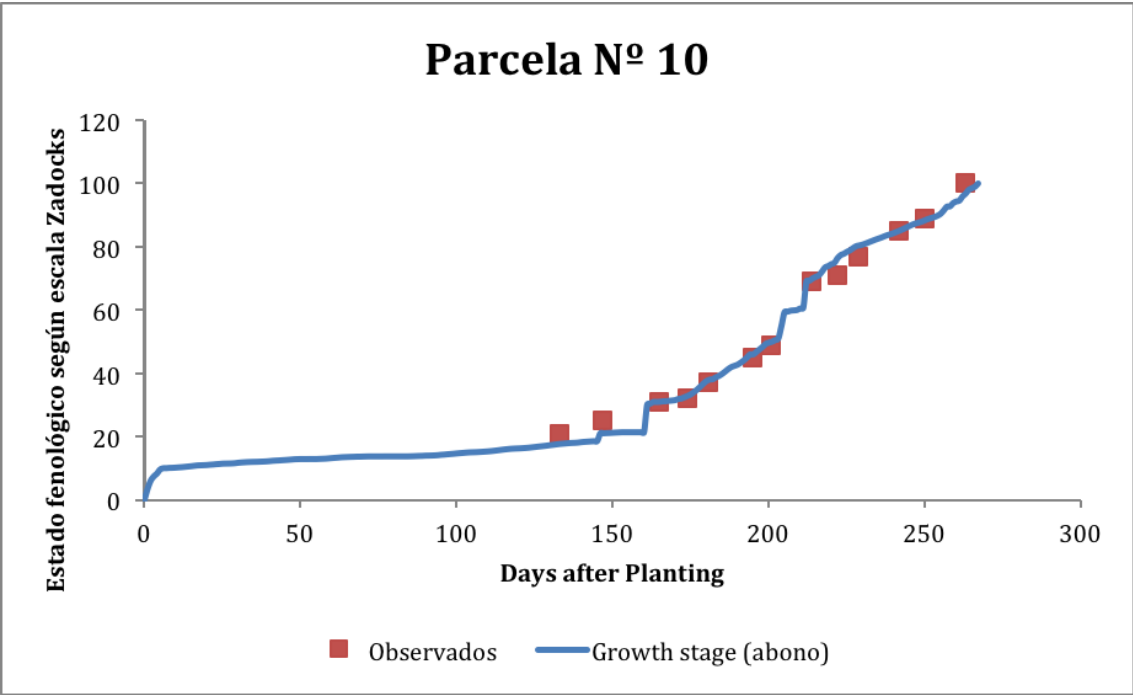


Figura 81. Fenología parcela N° 10

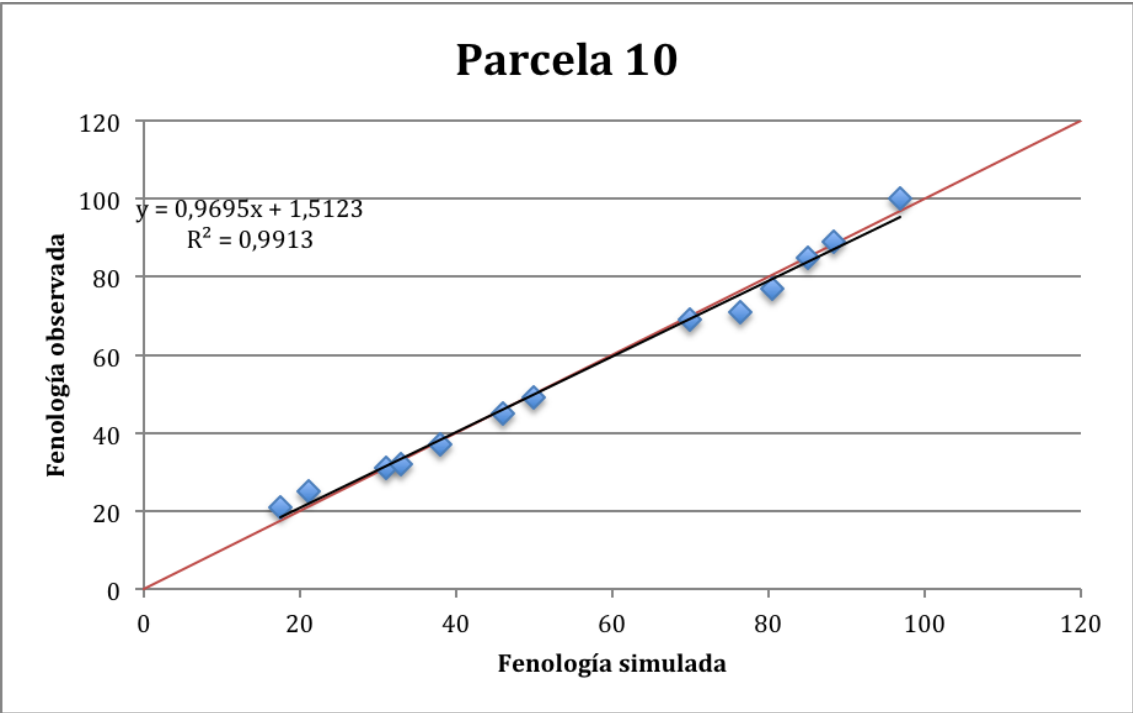


Figura 82. RMSE Fenología parcela N° 10

RMSE: 2,659

Resumen general:

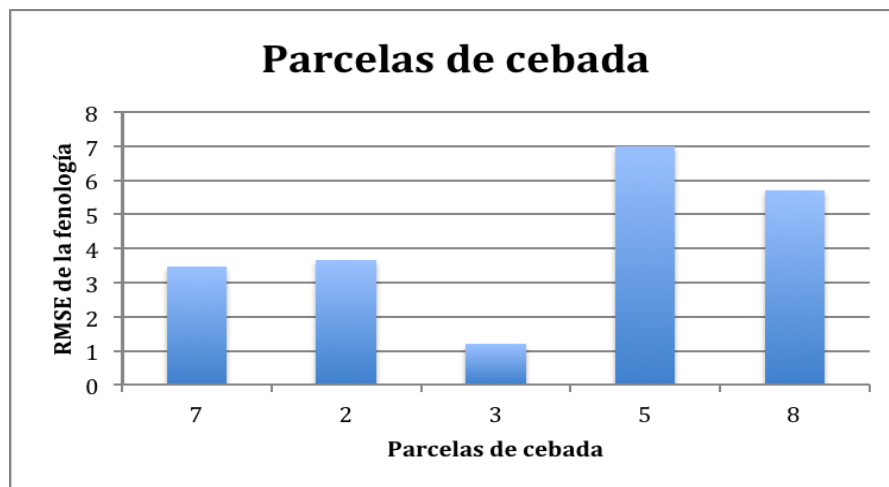


Figura 83. RMSE Fenología parcelas de Cebada

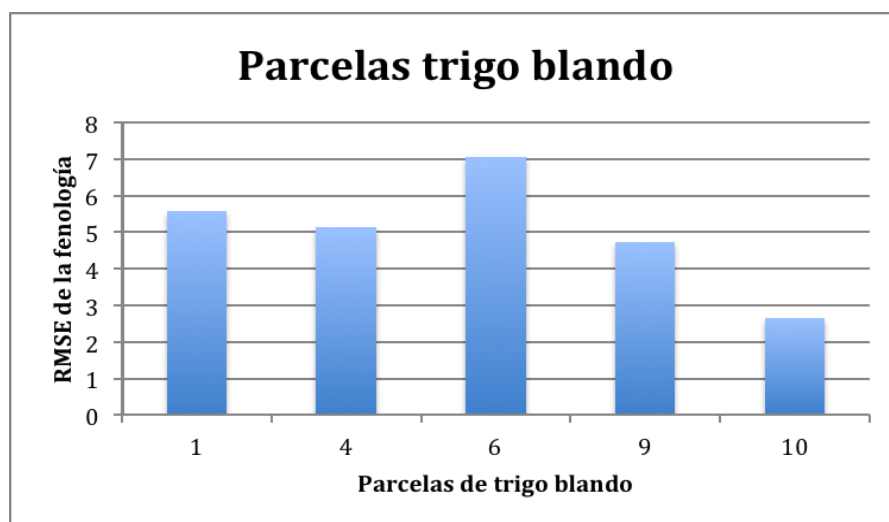


Figura 84. RMSE Fenología parcelas de Trigo blando

Según el error medio cuadrático obtenido en la simulación se puede establecer que simula bastante bien el desarrollo fenológico de las parcelas estudiadas, siendo el mayor error cometido correspondiente a un 7%. Si comparamos el error cometido en la simulación entre ambos cultivos, se observa que en el trigo se ha cometido mayor error en la simulación con respecto a la cebada. Aún así, los errores en ambos casos son inferiores a un 7%.

6.3.3 Biomasa

Parcela N° 7:

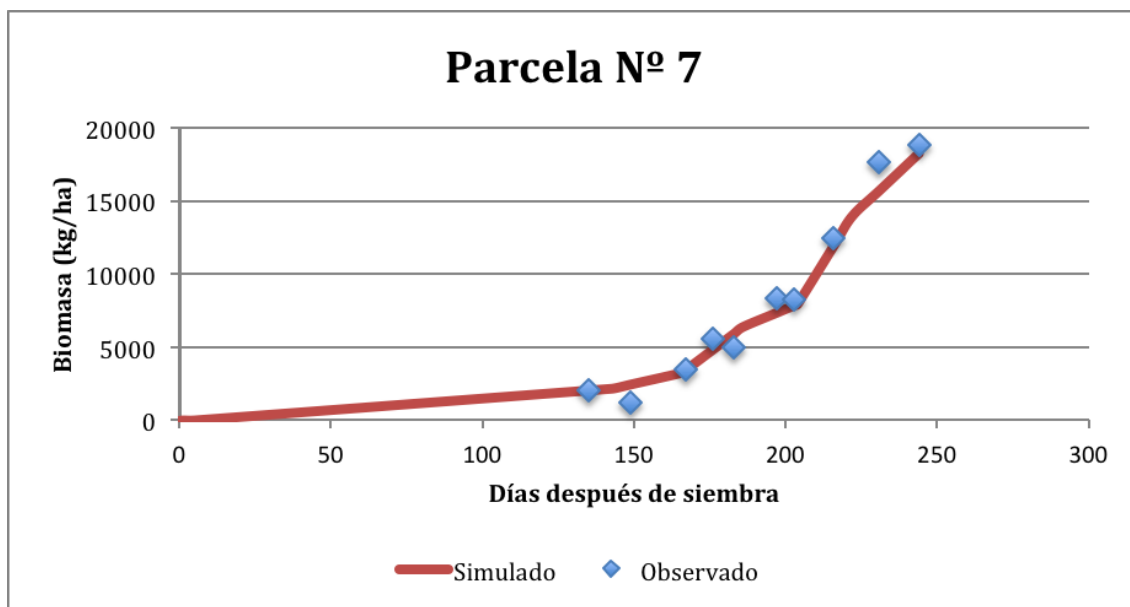


Figura 85. Biomasa parcela N° 7

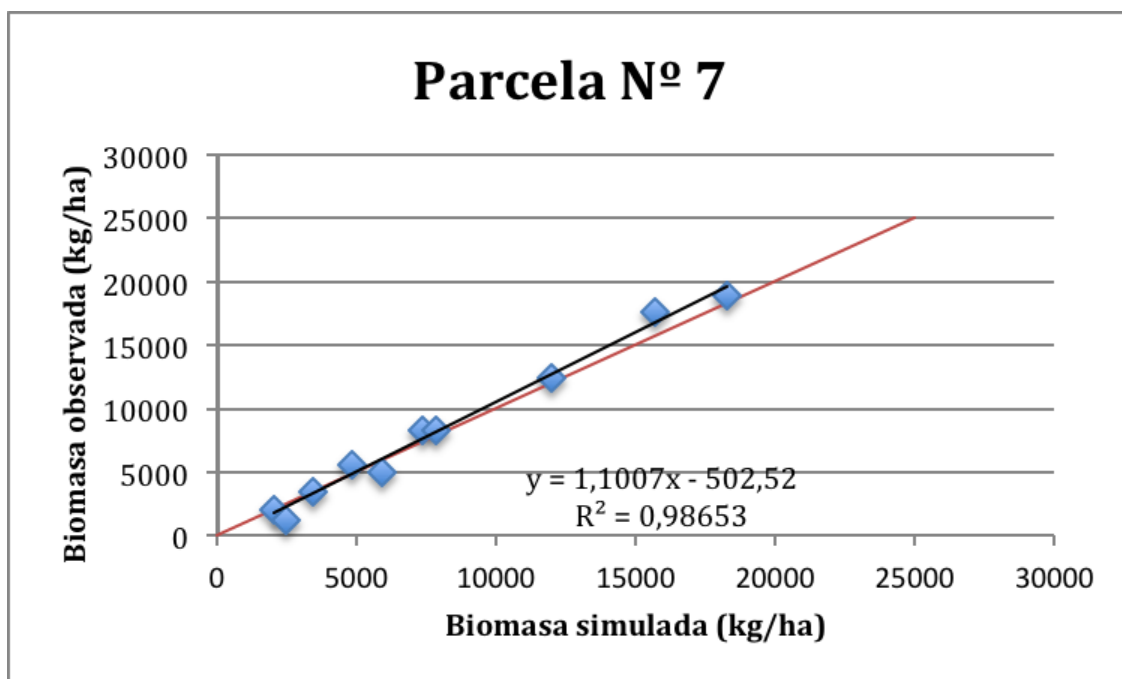


Figura 86. RMSE Biomasa parcela N° 7

RMSE: 918,41 Kg/ ha

Parcela N° 2:

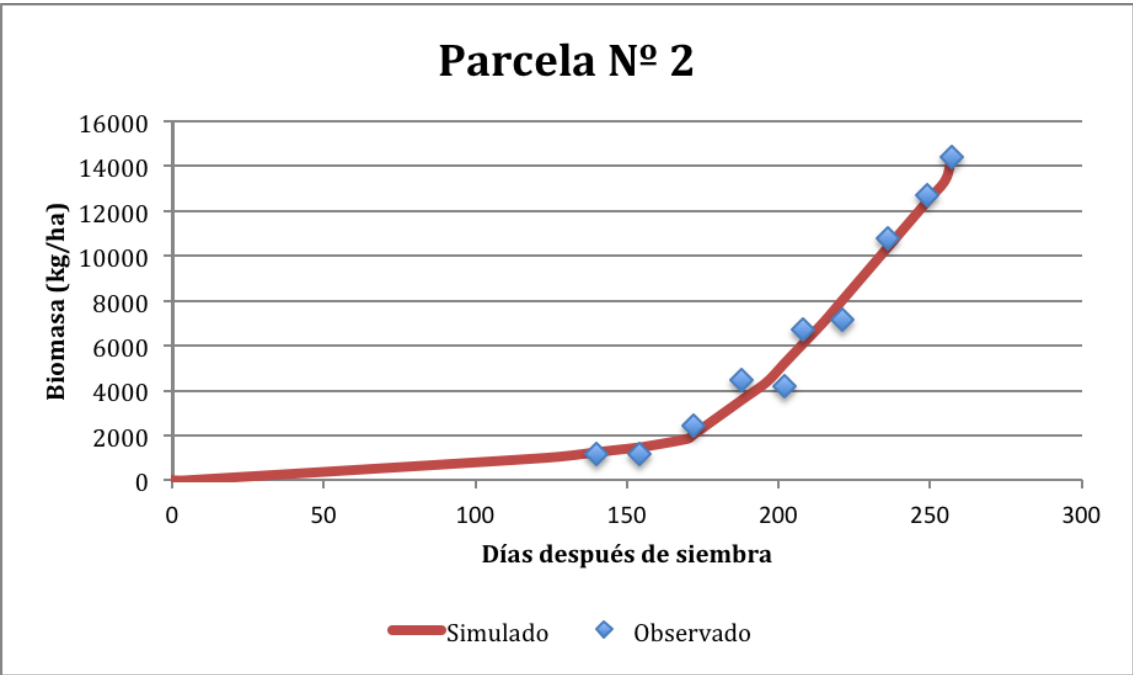


Figura 87. Biomasa parcela N° 2

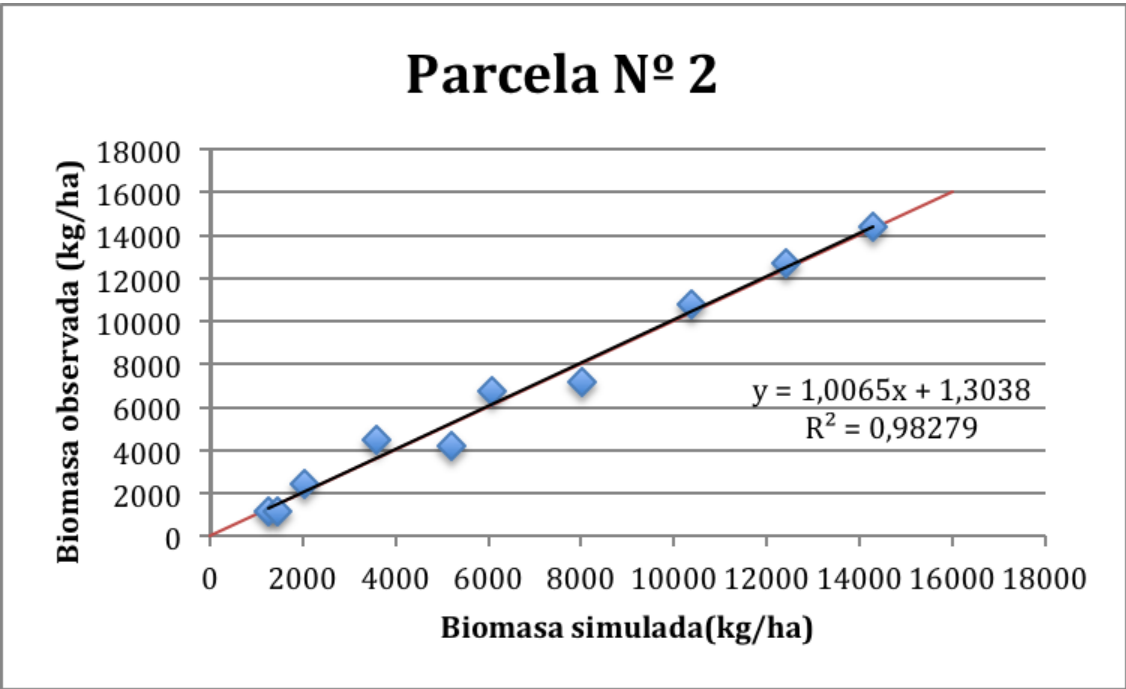


Figura 88. RMSE Biomasa parcela N° 2

RMSE: 592,04 Kg/ ha

Parcela N° 3:

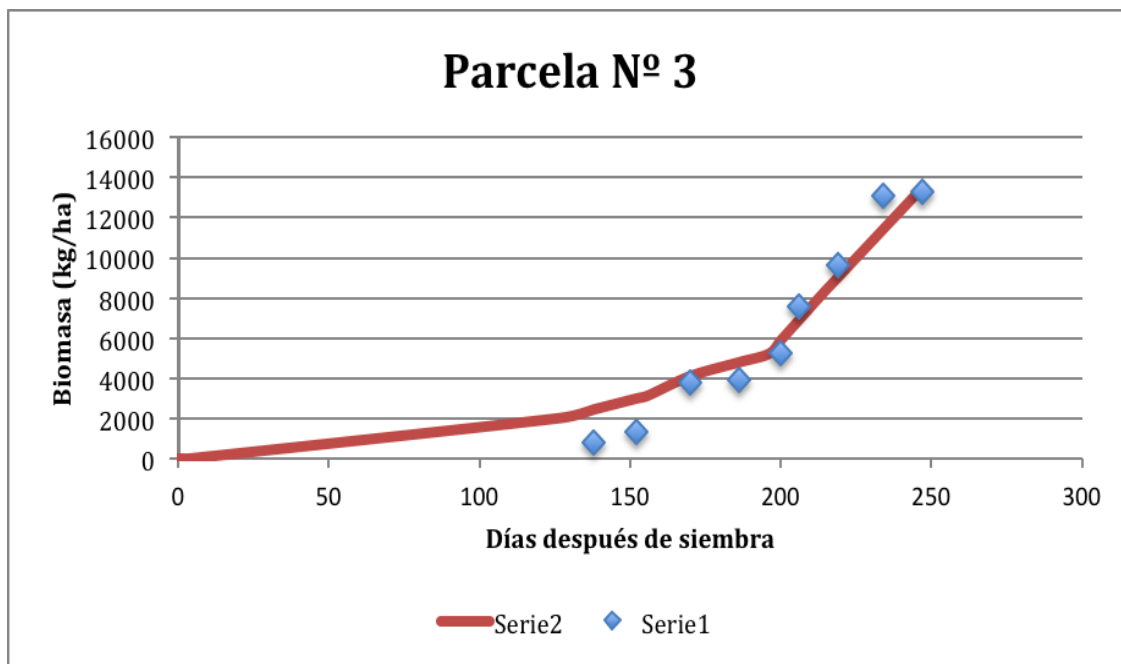


Figura 89. Biomasa parcela N° 3

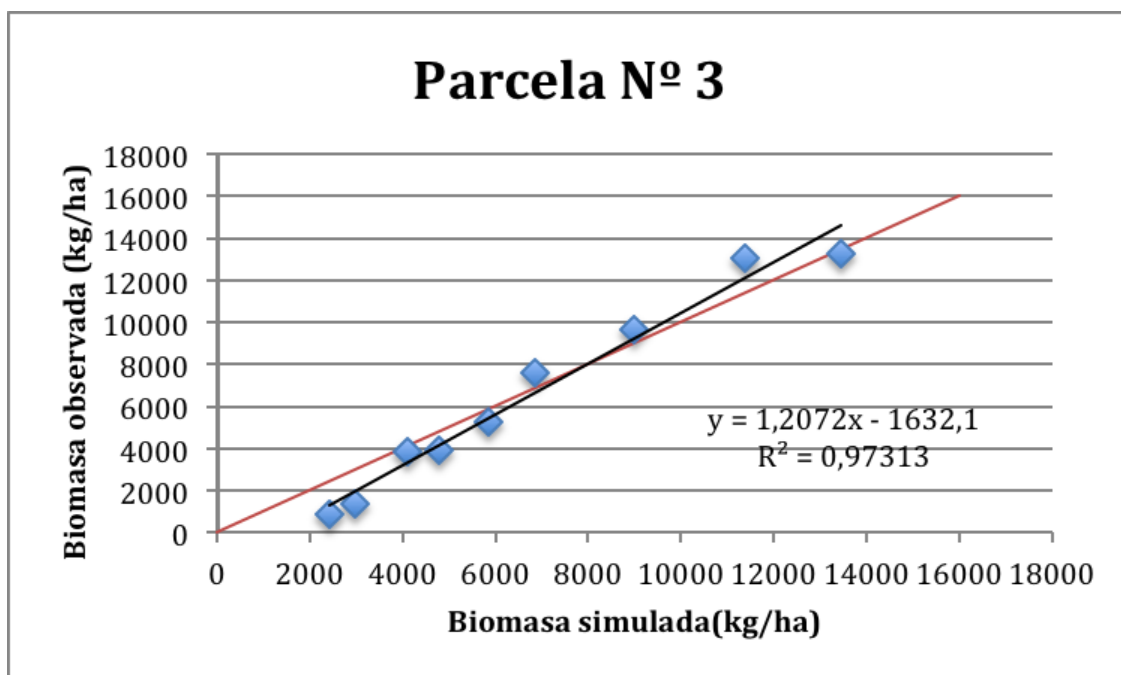


Figura 90. RMSE Biomasa parcela N° 3

RMSE: 1.006,59 Kg/ ha

Parcela N° 5:

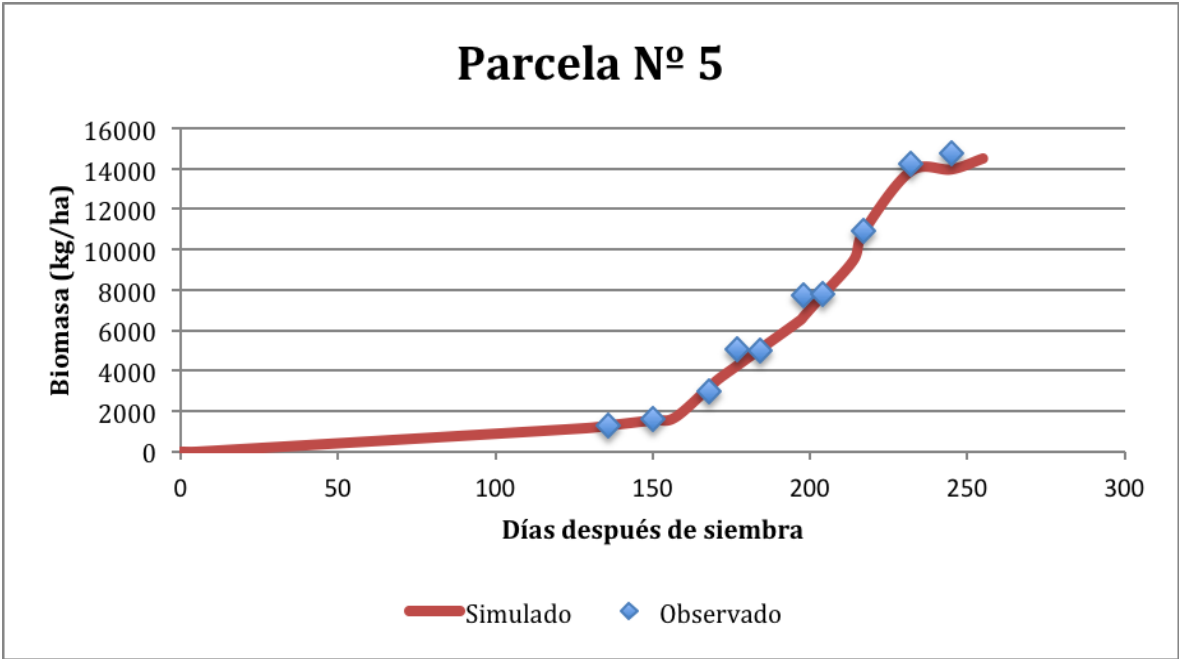


Figura 91. Biomasa parcela N° 5

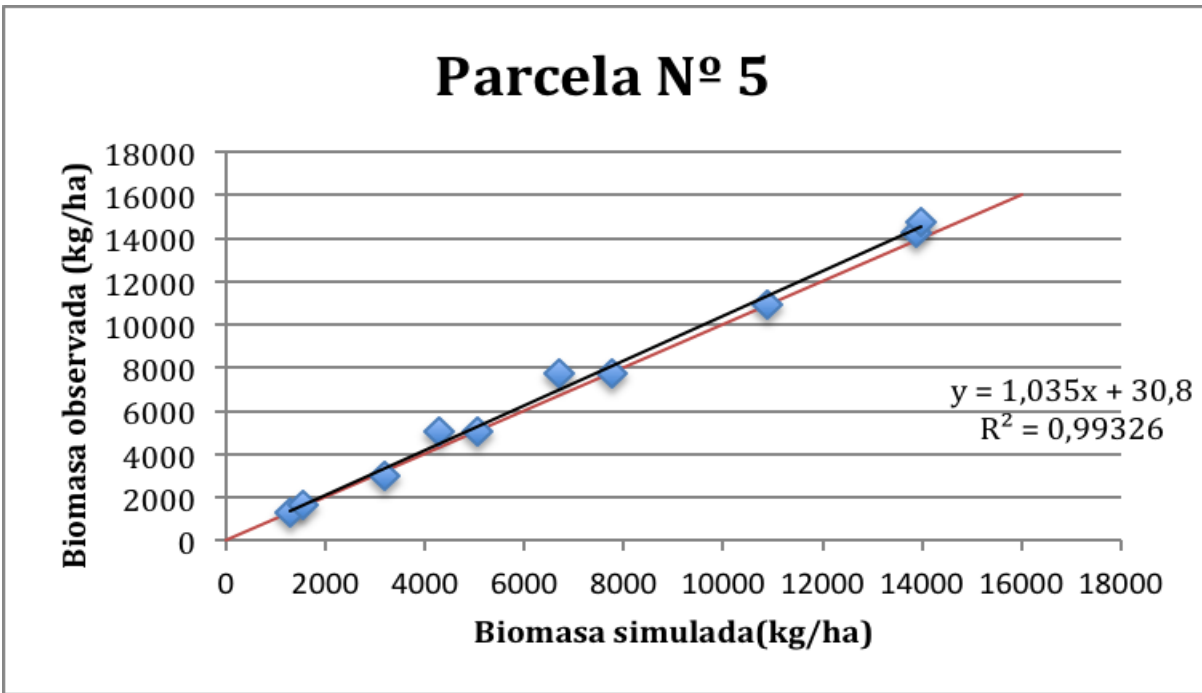


Figura 92. RMSE Biomasa parcela N° 5

RMSE: 2.136,64 Kg/ ha

Parcela N° 8:

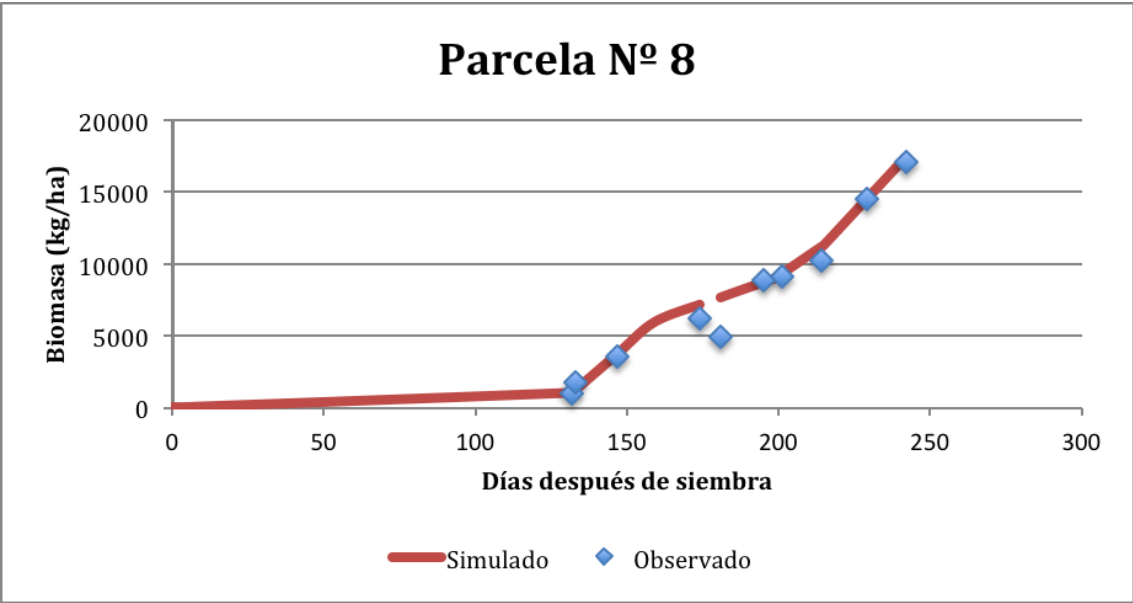


Figura 93. Biomasa parcela N° 8

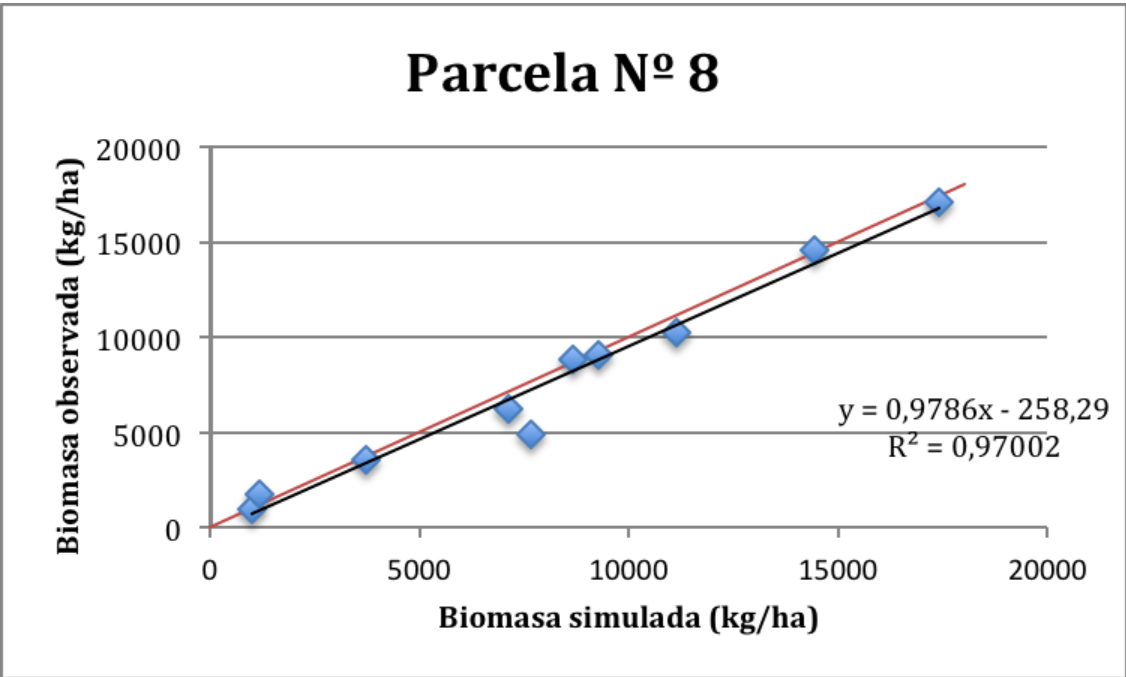


Figura 94. RMSE Biomasa parcela N° 8

RMSE: 977,83 Kg/ ha

Parcelas de TRIGO BLANDO

Parcela N° 1:

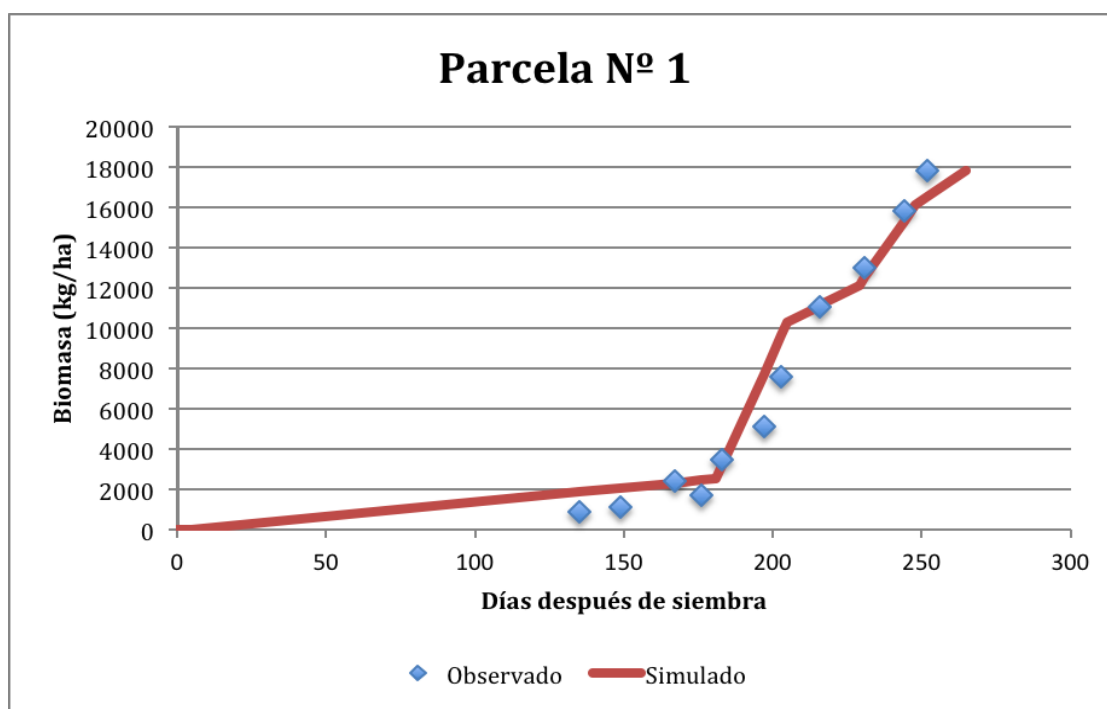


Figura 95. Biomasa parcela N° 1

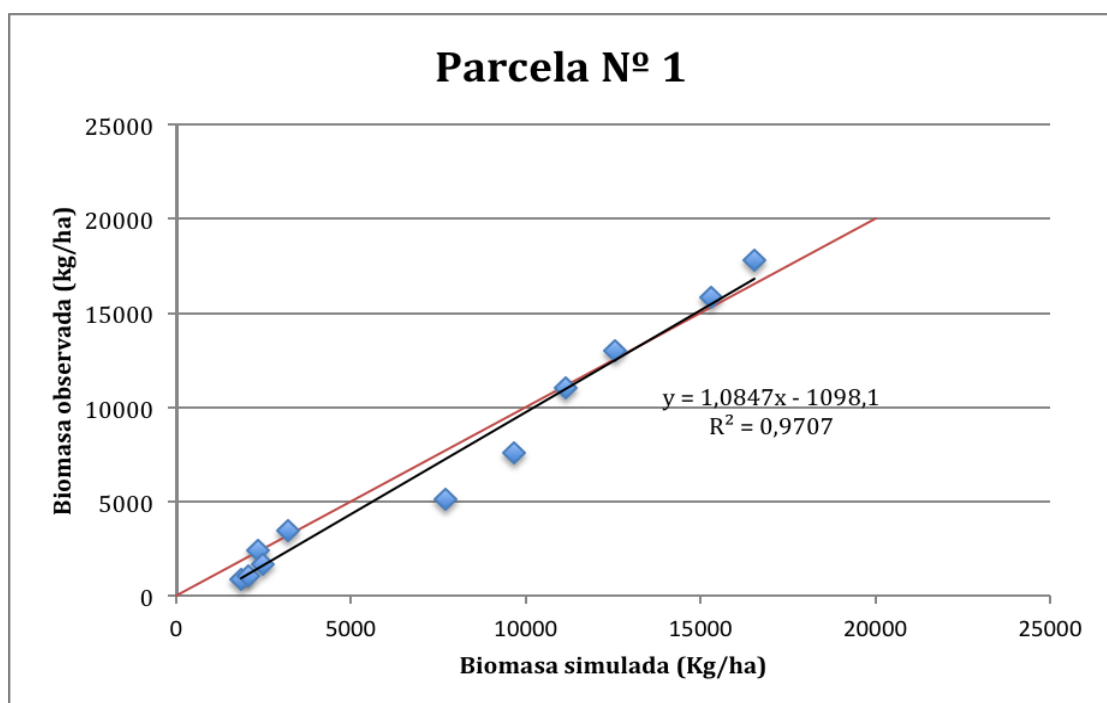


Figura 96. RMSE Biomasa parcela N° 1

RMSE: 1.195,69 Kg/ ha

Parcela N° 4:

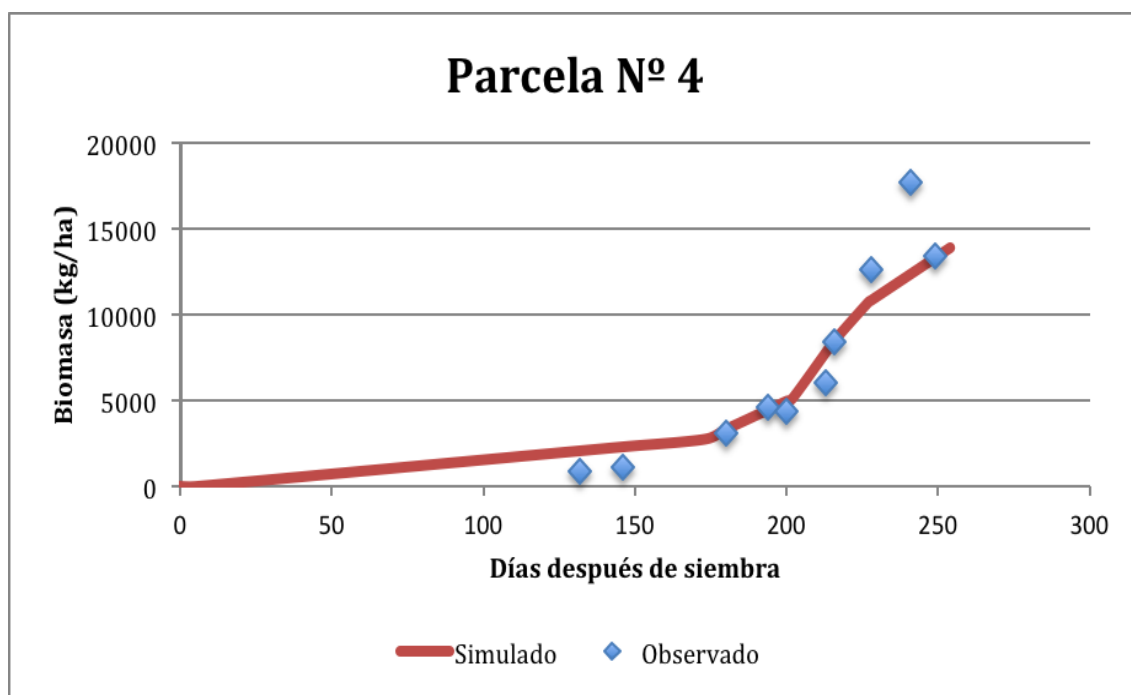


Figura 97. Biomasa parcela N° 4

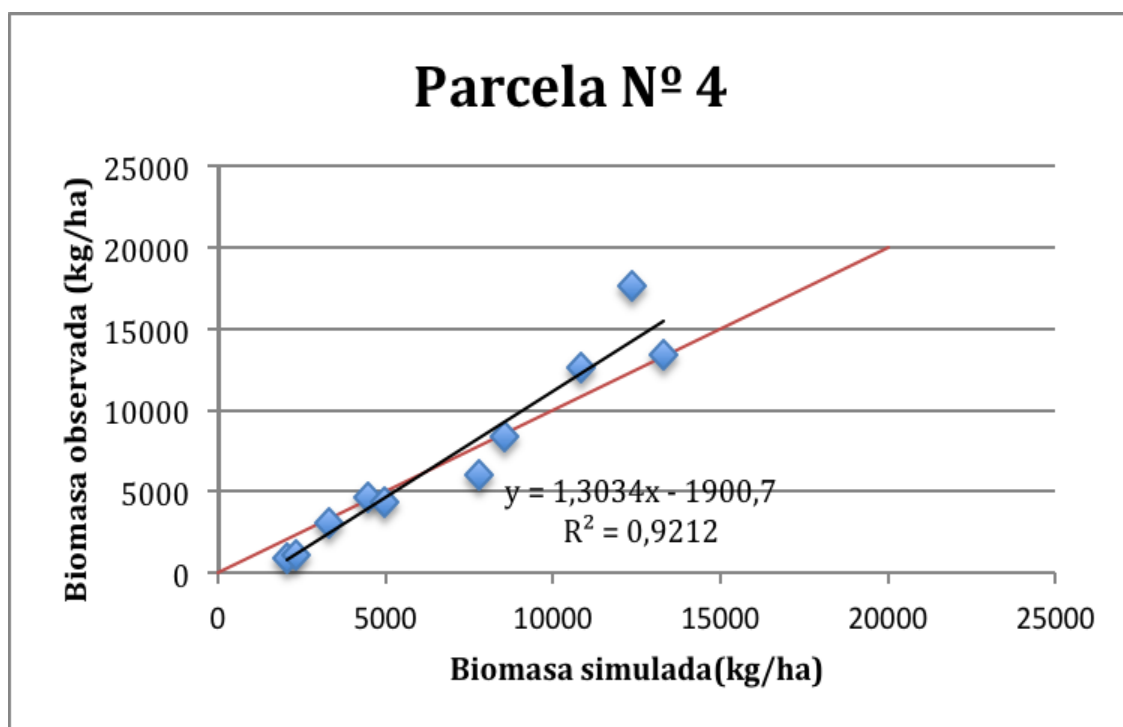


Figura 98. RMSE Biomasa parcela N° 4

RMSE: 1.941,46 Kg/ ha

Parcela N° 6:

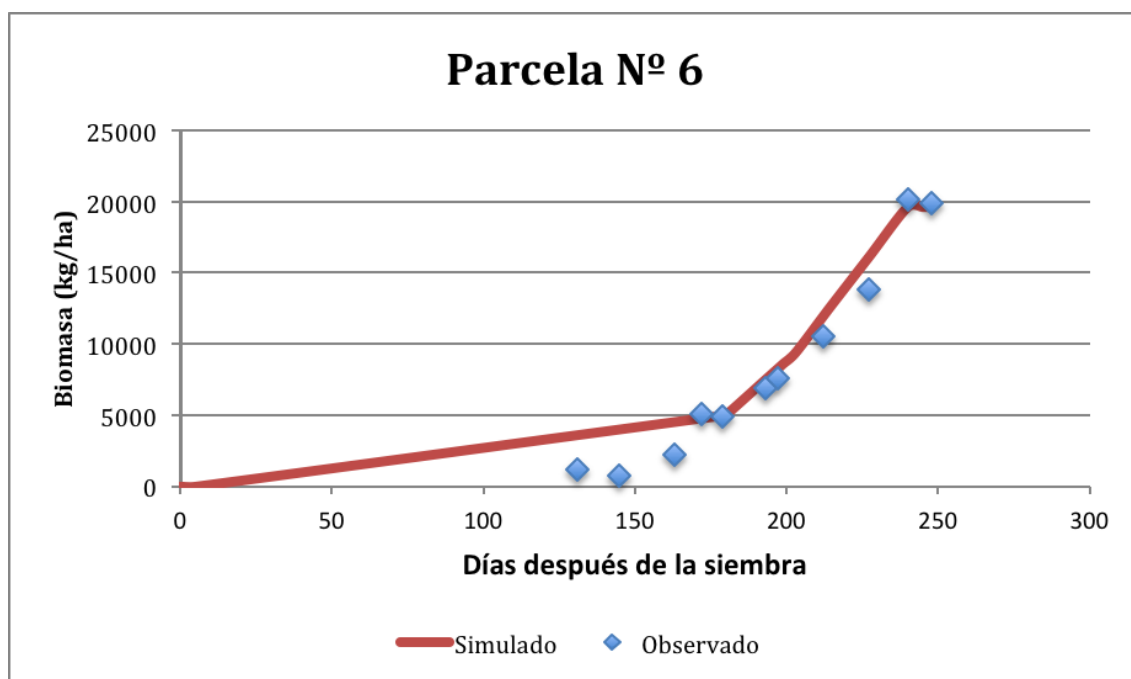


Figura 99. Biomasa parcela N° 6

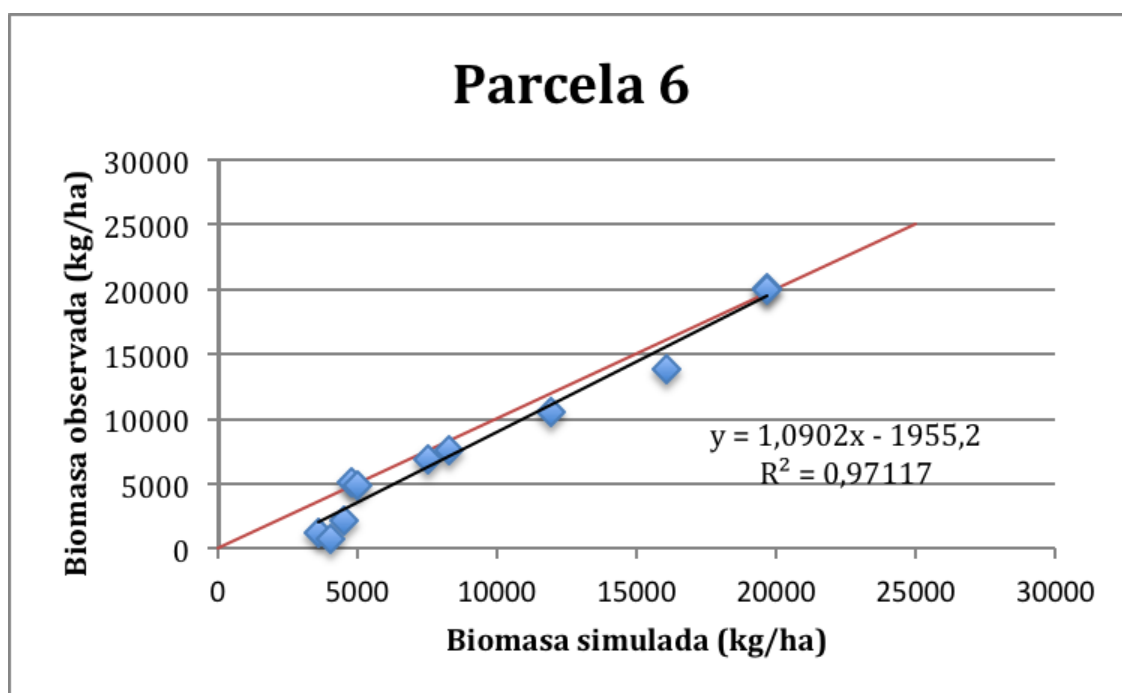


Figura 100. RMSE Biomasa parcela N° 6

RMSE: 1.656,65 Kg/ ha

Parcela N° 9:

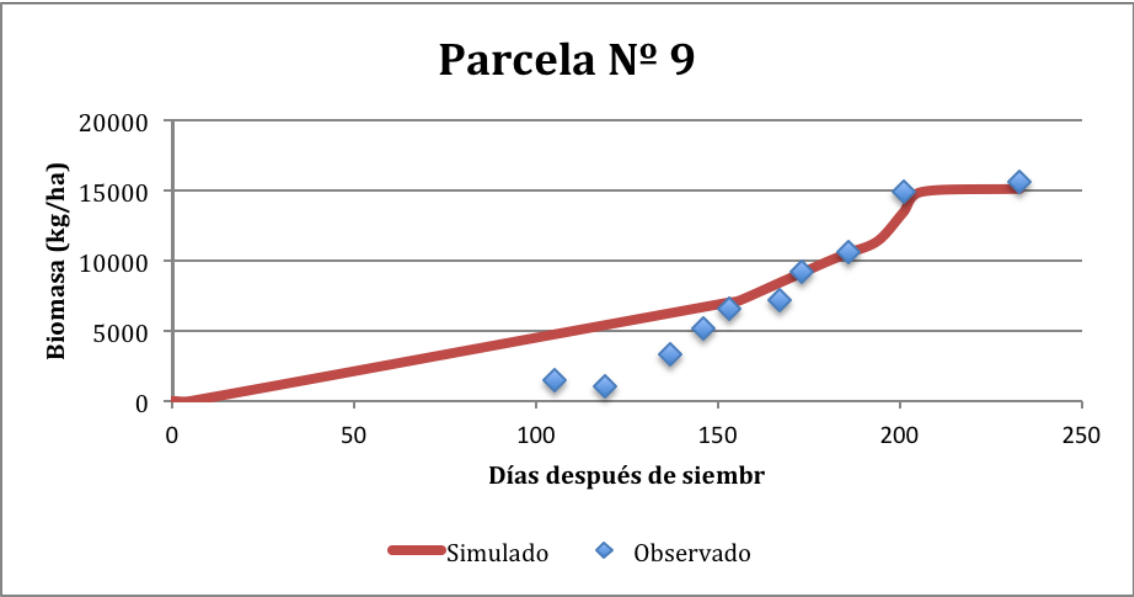


Figura 101. Biomasa parcela N° 9

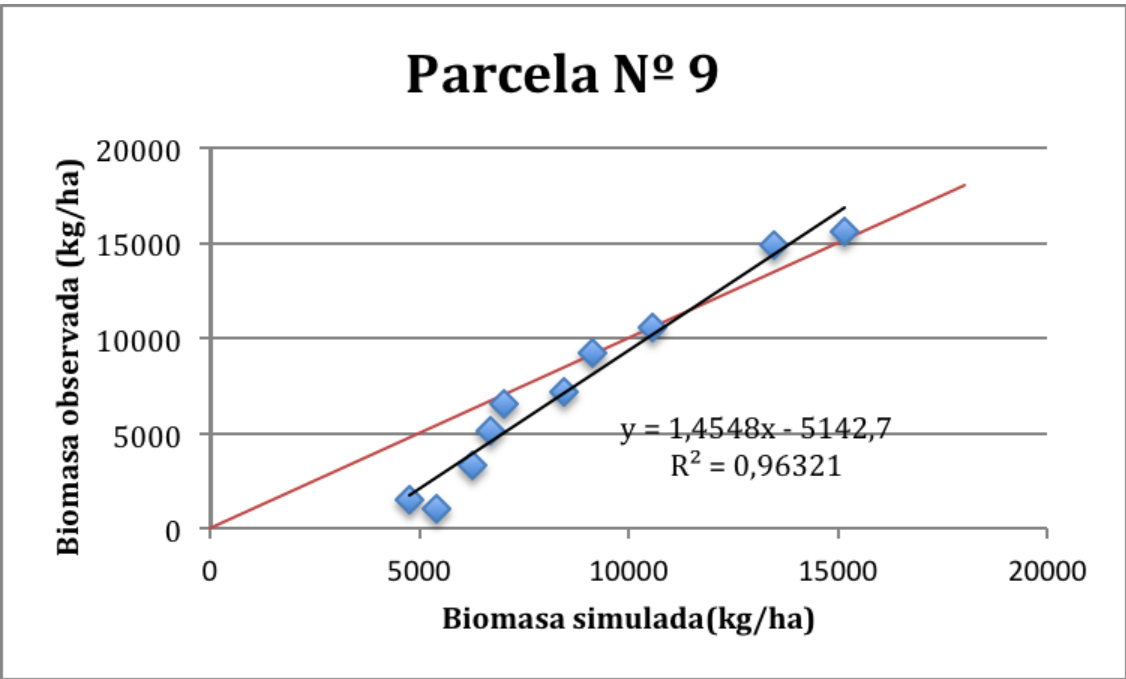


Figura 102. RMSE Biomasa parcela N° 9

RMSE: 2.119,25 Kg/ ha

Parcela N° 10:

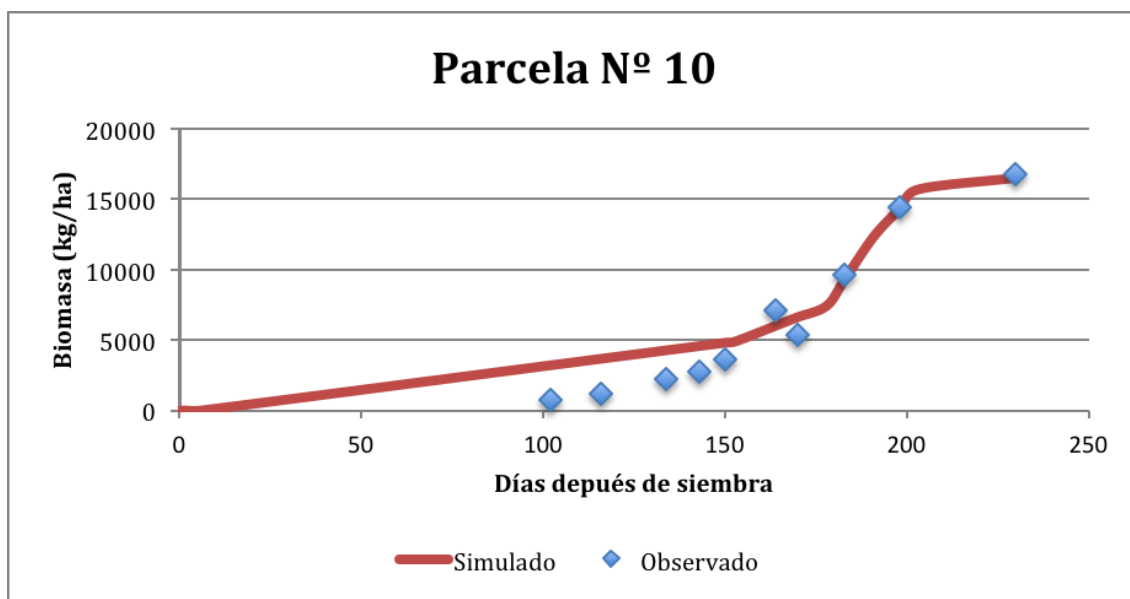


Figura 103. Biomasa parcela N° 10

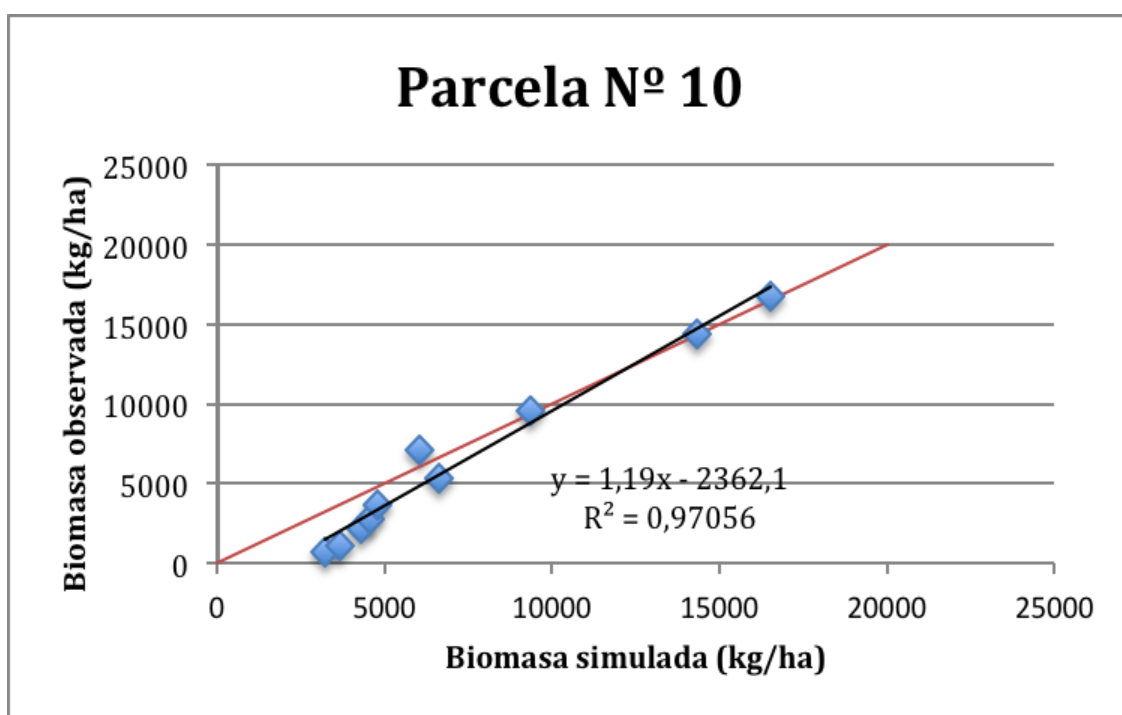


Figura 104. RMSE Biomasa parcela N° 10

RMSE: 1.569,36 Kg/ ha

Resumen general:

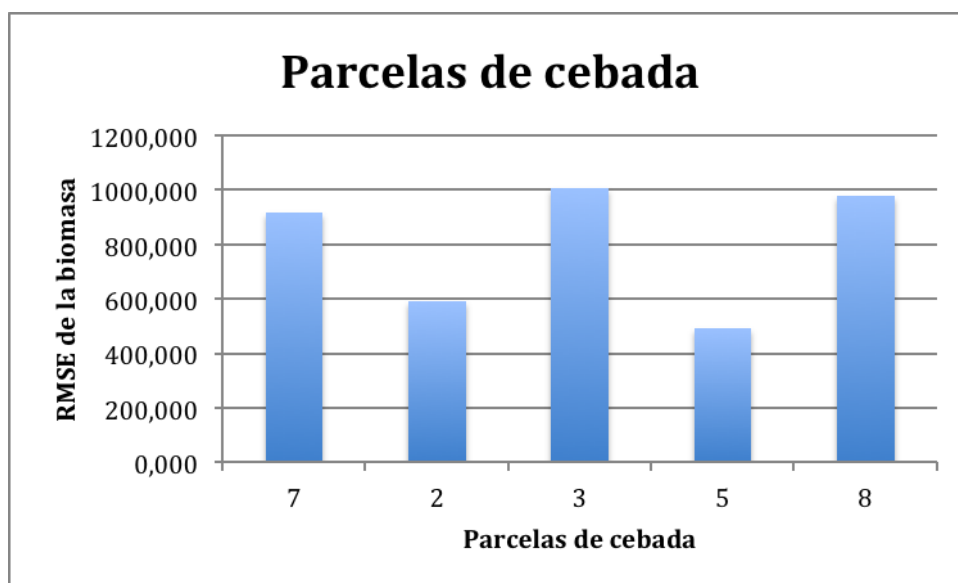


Figura 105. RMSE Biomasa parcelas de Cebada

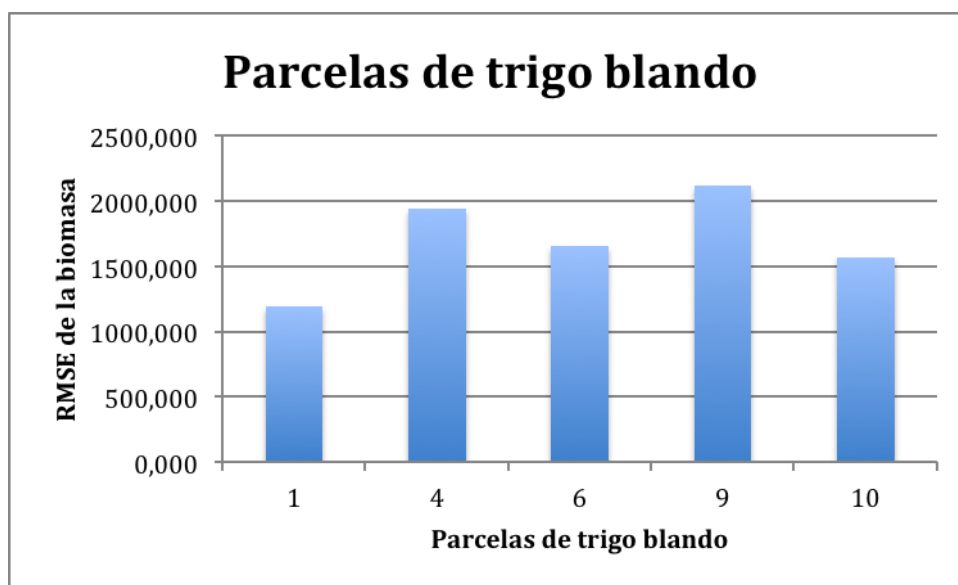


Figura 106. RMSE Biomasa parcelas de Trigo blando

Se puede observar que el error medio cuadrático (RMSE) obtenido en la simulación es mayor en las parcelas de trigo blando que en las de Cebada, presentando una diferencia de hasta 1000 unidades en trigo y unas 500 en cebada.

Es curiosa la disparidad en las parcelas de cebada Meseta, encontrándose los valores más elevados y los más bajos de la simulación; esto puede deberse a un crecimiento irregular del cultivo por el tipo de suelo o abonado irregular.

En trigo el mayor error lo presenta la parcela P9 de Berdún, mientras que el mejor simulado es la parcela 1 sembrada con García.

6.3.4 Producción

Parcela N°:	Producción simulada de grano(Kg/Ha)	Producción real de grano (Kg/Ha)	Variedad	Especie
7	6.645	7531	Opal	CEBADA
2	4.795	5528	Meseta	
3	6.726	7055		
5	5.870	6368		
8	4.659	5609		
1	9.300	8696	Bokaro	TRIGO BLANDO
4	9.897	9792	García	
6	5.972	5523	Camargo	
9	8.034	7144	Berdún	
10	6.117	5008		

Tabla 16. Producción real y simulada de grano (Kg/Ha)

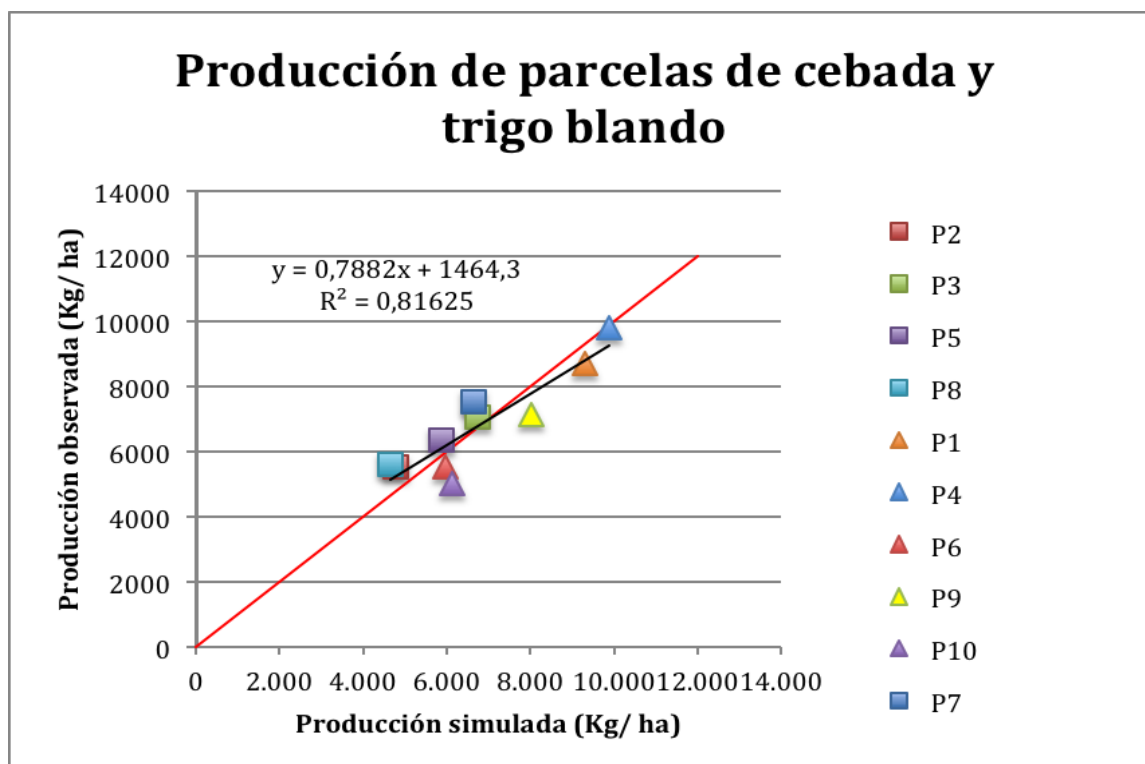


Figura 107. Producción en las parcelas de Cebada y Trigo blando

En ésta gráfica se ve que los trigos están siempre por debajo de la línea roja y las cebadas por encima. Esto quiere decir que la producción se sobreestima para el trigo y se subestima para la cebada.

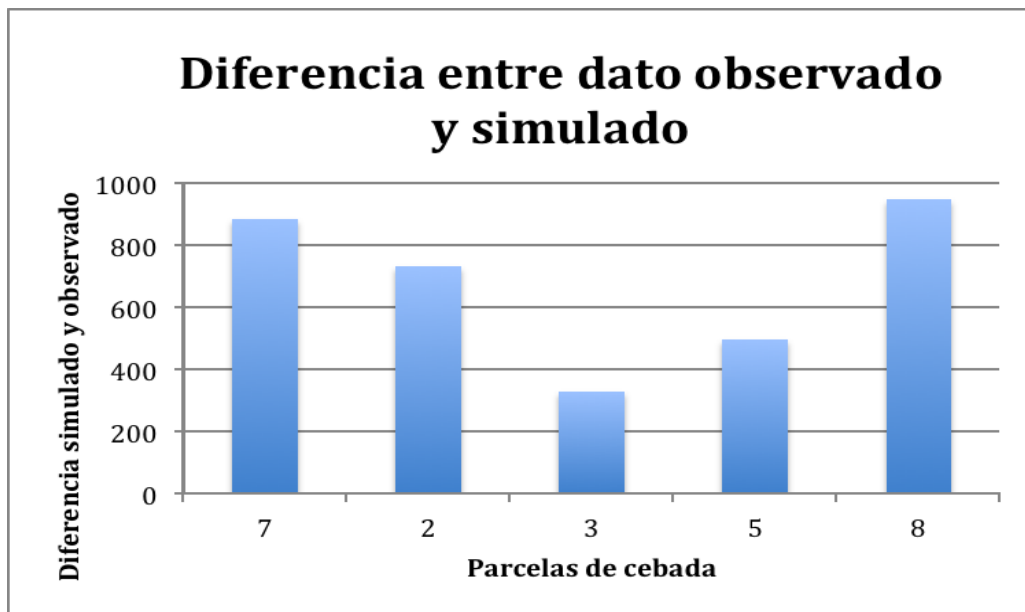


Figura 108. Diferencia entre lo observado y simulado en parcelas de Cebada

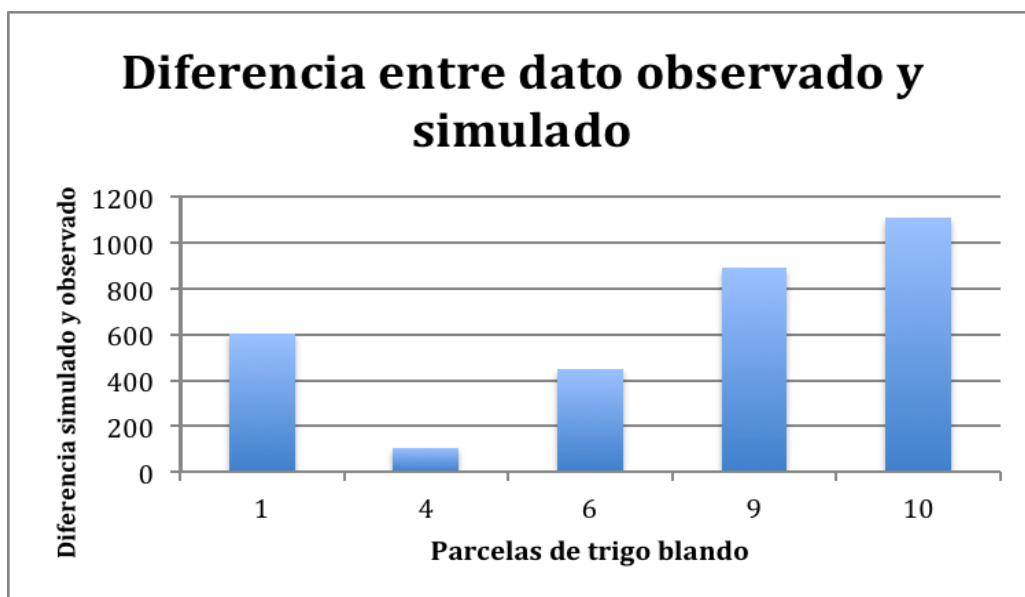


Figura 109. Diferencia entre los observado y simulado en parcelas de Trigo blando

La producción simulada ha tenido un error de entre 500 y 1000Kg con respecto de la producción real obtenida. El error cometido no se debe a la variedad como se puede observar en la variedad Meseta, para la cual en la parcela 3 realizo una simulación con un error de 300 Kg mientras que la parcela 8 casi se diferenció en 1000 Kg con respecto al valor real. A su vez no se observan diferencias en la cantidad de error en función del tipo de cultivo.

7 Discusión y conclusiones

En este trabajo se ha realizado una evaluación preliminar del modelo DSSAT aplicado a cultivos de trigo blando y cebada en la Zona Media de Navarra. Los resultados de las simulaciones realizadas se han comparado con datos experimentales recogidos en diez parcelas (cinco de trigo y cinco de cebada) a lo largo de la campaña de 2012. En concreto, se han comparado medidas de humedad de suelo, estado fenológico, biomasa y producción final de grano con las simulaciones del modelo.

Los resultados obtenidos muestran un buen funcionamiento del modelo, sobre todo en lo que respecta a la simulación del desarrollo del cultivo. La simulación del estado fenológico muestra, en general, un muy buen ajuste con las observaciones de campo. La simulación de la evolución de la biomasa del cultivo a lo largo del ciclo resulta también, en general, satisfactoria y las predicciones de producción final de grano se ajustan de forma razonable a las producciones observadas. En cuanto a la humedad del suelo, la variabilidad en este caso es algo mayor, debido a la simplicidad del módulo hidrológico que incorpora el modelo.

Por lo general, la simulación ha sido buena, aunque se observan diferencias en algunas parcelas:

En la humedad del suelo, las parcelas de cebada con mayor diferencia son la 5 y la 8 ambas sembradas con Meseta, mientras que la parcela 3 ha sido la que menos diferencia ha presentado y también estaba cultivada con la misma variedad. En cuanto a trigo blando, la parcela que ha presentado mayor disparidad ha sido la 9 sembrada con Berdún y la de menor error la de Trigo blando García (parcela Nº 4).

En cuanto a la fenología, en cebada la mayor diferencia se aprecia en las parcelas 5 y 8 y la menor la parcela 3, al igual que en la humedad del suelo. Mientras que en Trigo blando, la mayor diferencia ha sido en la parcela Nº 6 sembrada con Camargo y la menor, al igual que en la humedad del suelo, la parcela Nº 10 sembrada de Berdún.

En los datos de biomasa, el mayor error en la cebada se aprecia en la parcela Nº 5 y el menor se vuelve a confirmar en la parcela Nº 3, ambas sembradas con la variedad Meseta. En trigo blando, la mayor diferencia es en la parcela Nº 1 sembrada con Bokaro y la menor la parcela Nº 4 sembrada de García.

En cuanto a producción se observan diferencias curiosas, siendo en cebada la producción simulada entre 500 y 1.000 Kg. inferior a la producción real, mientras que en trigo la producción simulada es entre 100 y 1.000 Kg. superior a la producción real. Así mismo, la parcela de cebada que presenta mayor diferencia en la simulación ha sido la Nº 8 con una diferencia de casi 1.000 Kg. superior la producción real a la simulada y la que menor la Nº 3, al igual que se observa en los datos de Biomasa, con una diferencia de 300 Kg. inferior la producción simulada a la real. La parcela con mayor diferencia en trigo ha sido la Nº 10 con una diferencia de 1.100 Kg. mayor en lo simulado que lo real, y la menor diferencia ha sido la parcela Nº 4 con una diferencia de 100Kg. mayor en lo simulado que lo real.

En cebada, las parcelas peor simuladas han sido la Nº 5 en fenología y biomasa y la Nº 8 en humedad del suelo y producción, ambas parcelas sembradas con cebada Meseta. La parcela mejor simulada en todas medidas ha sido la parcela Nº 3, también sembrada con cebada Meseta. Resulta contradictorio que las parcelas mejor y peor

simuladas sean de la misma variedad, esto puede ser debido al manejo de la parcela, a la inclinación de ésta, quedando unas zonas con mayor humedad que otras y esto influir en el crecimiento del cultivo, o al lugar de la toma de muestras.

En las parcelas de trigo blando, hay mayor disparidad y no se puede definir una parcela como la mejor o peor simulada. En fenología y biomasa las peor simuladas son las parcelas N° 1 y N° 6, sembradas de Bokaro y Camargo respectivamente; en producción la mayor diferencia se observa en las parcelas N° 9 y N° 10, ambas sembradas de Berdún; y humedad del suelo la que presenta mayor error es la parcela N° 9. De igual modo, la parcelas mejor simuladas en fenología y humedad del suelo es la N° 10 sembrada de Berdún y en biomasa y producción la parcela N° 4 sembrada de García.

Por tanto, los resultados obtenidos en este trabajo indican que el modelo DSSAT aplicado al crecimiento de Trigo blando y Cebada constituye una buena herramienta para la toma de decisiones en el manejo de estas gramíneas y la adopción de prácticas agrícolas que mejoren las producciones y reduzcan el impacto medioambiental.

Por último, hay que tener en cuenta que la fiabilidad de las predicciones del modelo depende de la calidad de la información de partida que éste utiliza. La calidad de los datos meteorológicos, edafológicos, varietales y de manejo que se introduzcan en el modelo resulta clave para una correcta simulación.

8 Bibliografía

- Andre Gros; Alfonso Dominguez. 1992. Abonos. Guía práctica de la fertilización. Editorial Mundi-Prensa. (ª edición.
- ARENTO.2013. Cuaderno de campo. Trigos duros y blandos, patologías y plagas. Edita Grupo Arento. Colabora: INTIA y Gobierno de Aragón.
- Armesto, A.P.; Goñi, J.; Lafarga, A. y Segura, A. 2007. El trigo blando Berdún en Navarra. Navarra Agraria, Nº 161, pp. 47-50. Disponible en: <http://www.navarraagraria.com/n161/berdun.pdf>
- Botanical online. Clases de trigo. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/tiposdetrigo.htm>
- Botanical online. Cebada. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/cebada.htm>
- FENALCE. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. <http://www.fenalce.org/pagina.php?>
- Fiuba, Facultad de ingeniería Universidad de Buenos Aires. Apuntes de sistemas, modelos y simulación. 2013.
- Fuentes Yagüe, J.L. 2002. Manual práctico sobre fertilización de suelo y fertilizantes. Ed. Mundi prensa libros, S.A.
- GARCÍA FERNANDEZ, J. 1971. Cultivos herbáceos. Ediciones Agrociencia.
- GENVCE, 2013. Fichas de variedades de trigo blando y cebada. Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades de Cereales en España. Disponible en www.Genvce.org/.
- Gobierno de Navarra. Estadística agraria año 2012. Producciones anuales de los cultivos.
- GONZÁLEZ TORRES, F; ROJO HERNÁNDEZ, C. 2005. Prontuario de Agricultura: Cultivos Agrícolas. Editorial Mundi Prensa.
- GUERRERO, A. 1999. Cultivos Herbáceos Extensivos. Editorial Mundi Prensa.
- ITGA, 2010. Balance de la campaña cerealista 2009 – 2010. Instituto Navarro de Tecnología e infraestructuras Agroalimentarias.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. DSSAT Cropping System Model. European Journal of Agronomy 18:235-265.

- LÓPEZ BELLIDO, L. 1990. Cultivos Herbáceos. Vol. I. Cereales. Editorial Mundi Prensa.
- MALTEAR. Maltería Argentina. Tipos de cebada.
http://www.maltear.com/cebada_tipos.html
- Meteorología y Climatología de Navarra. Gobierno de Navarra.
<http://meteo.navarra.es/estaciones/estacion.cfm?IDestacion=12>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013. Registro de Productos Fitosanitarios. Disponible en
<http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/registro/productos/conregnom.asp>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España.
<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>
- MOLINA CANO J.L. 1989. La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. Editorial Mundi Prensa.
- Naivy Hernández, Dr.C. F. Soto, Dr.C. A. Caballero. Revisión bibliográfica. Cultivos tropicales. Cultrop v.30 n.1. La Habana. 2009.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014
- OSCA, J. 2007. Cultivos Herbáceos Extensivos: Cereales. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Panorama Global. Producción mundial de trigo, 2011 – 2012.
<http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Trigo.htm>
- PUC, 2013. Biología de Cultivos Anuales, Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos
- Pujol Palol, Miquel. 1998. Gramíneas: Aplicaciones agronómicas. Ediciones UPC.
- Sociedad Cooperativa Agraria San José. Sádaba. 2013. Comunicación personal.
- Stockle, C. O. and R. L. Nelson. 2013. Cropsyst User's manual. Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA. Disponible en: http://www.bsyse.wsu.edu/CS_Suite/CropSyst/
- Todas las voces. Puan. <http://www.diariodepuan.com.ar/2013/01/la-cebada-en-nuestra-zona-adonde-va-la-produccion-informe-especial/>

- Universidad de Minnesota, 1995.
<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc2547.html>

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

Anejos

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Septiembre 2013

ÍNDICE

Anejo 1. Localización de las parcelas

Anejo 2. Estudio edafológico de las parcelas

Anejo 3. Manejo de las parcelas

Anejo 4. Resultados

Anejo 5. Tratamientos fitosanitarios empleados y dosis recomendadas según MAGRAMA

Anejo 6. Descripción de las variedades utilizadas

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

ANEJO 1

Localización de las parcelas

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Septiembre 2013

ÍNDICE

Parcela Nº 1	1
Parcela Nº 2	2
Parcela Nº 3	3
Parcela Nº 4	4
Parcela Nº 5	5
Parcela Nº 6	6
Parcela Nº 7	7
Parcela Nº 8	8
Parcela Nº 9	9
Parcela Nº 10	10

Parcela N° 1

Nombre de la parcela: SIMES

Propietario: S.C. Orbaiz Galar, José María y Valentín

Cultivo (Especie y variedad): Trigo blando, Bokaro.

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Superf. (Ha/m²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	2,85	2,40

Parcela N° 2

Nombre de la parcela: Debajo Casa

Propietario: S.C. Cabodevilla Lizarraga, Felisa

Cultivo (Especie y variedad): Cebada, Meseta.

Datos de parcela

Código de Municipio	156	Municipio	LIZOÁIN	Polígono	1	Parcela	111
Superficie catastral							6,69 Ha
Superficie total de tierra arable según SIGPAC							6,69 Ha



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	6,69	12,90 *

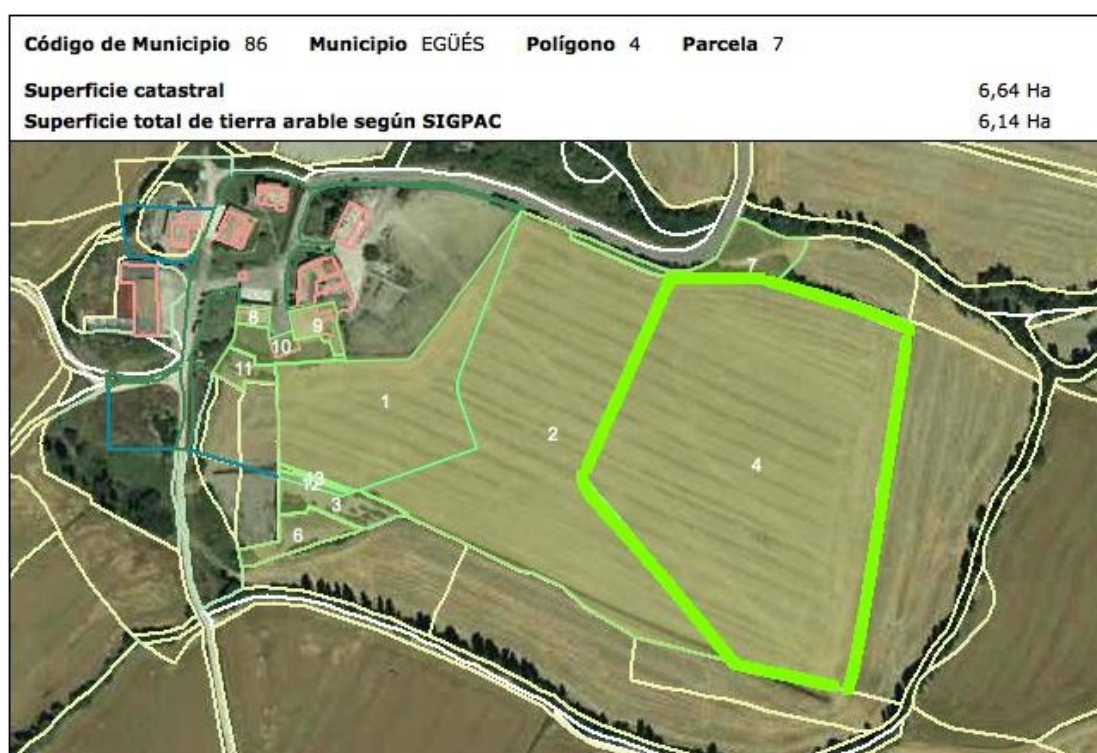
Parcela N° 3

Nombre de la parcela: Fuente Fraile

Propietario: S.C. Cabodevilla Lizarraga, Felisa.

Cultivo (Especie y variedad): Cebada, Meseta.

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
4	TIERRA ARABLE	SECANO	-	3,01	6,40

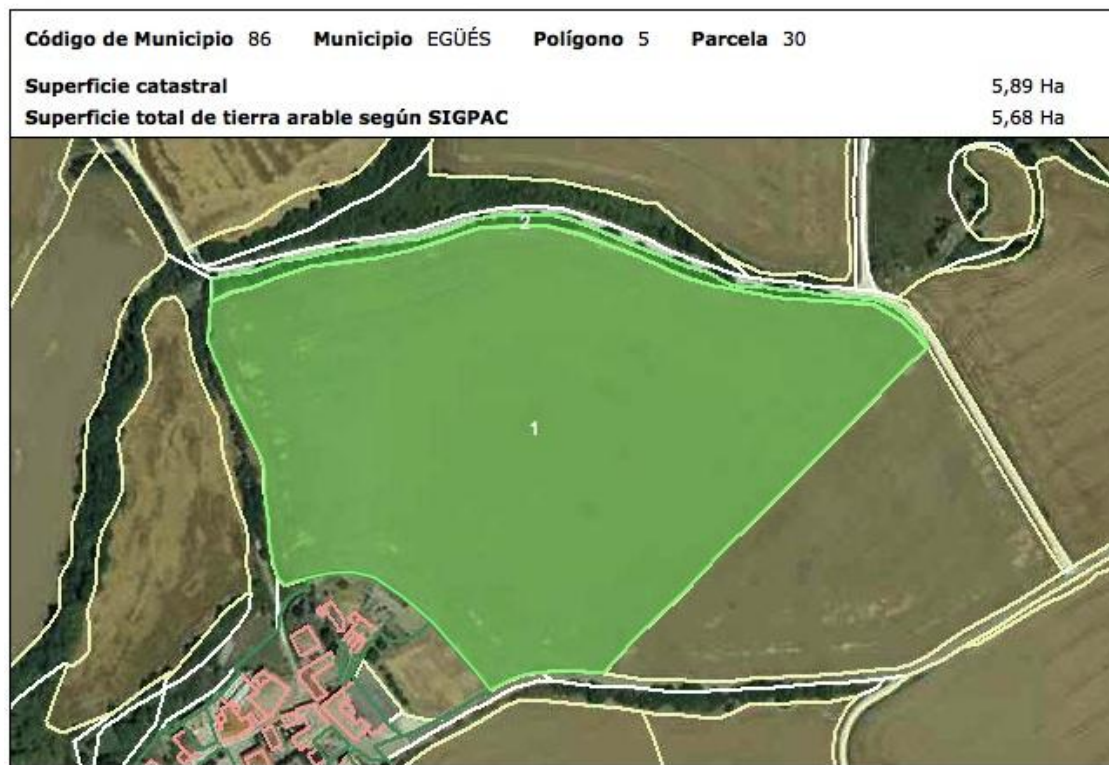
Parcela N° 4

Nombre de la parcela: El Parral

Propietario: Goñi Esquiroz, David

Cultivo (Especie y variedad): Trigo blando, García

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	-	5,68	12,40 *
2	PASTO CON ARBOLADO	SECANO	25	0,21	24,30

Parcela N° 5

Nombre de la parcela: Campo de Yelz

Propietario: Garde Agudo, José Luis

Cultivo (Especie y variedad): Cebada, Meseta.

Datos de parcela

Código de Municipio 156 Municipio LIZOÁIN Polígono 2 Parcela 65

Superficie catastral 6,83 Ha

Superficie total de tierra arable según SIGPAC 6,83 Ha



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	2,48	6,70
2	TIERRA ARABLE	SECANO	4,36	14,40 *

Parcela N° 6

Nombre de la parcela: Camino Lerruz

Propietario: S.C. Berasain Domínguez, Félix y Gemma

Cultivo (Especie y variedad): Trigo blando, Camargo

Datos de parcela

Código de Municipio	156	Municipio	LIZOÁIN	Polígono	4	Parcela	55
Superficie catastral							4,70 Ha
Superficie total de tierra arable según SIGPAC							4,70 Ha

An aerial photograph showing a large, irregularly shaped green field in the center, outlined in green. The field is labeled with the number '1' in the middle. Surrounding the green field are several brown, tilled agricultural fields, some of which are outlined in yellow. A road or path runs along the right side of the green field. The overall scene is a rural landscape.

Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	4,70	6,50

Parcela N° 7

Nombre de la parcela: Galdairu

Propietario: Eslava Huarte, Vicente

Cultivo (Especie y variedad): Cebada, Opal

Datos de parcela

Código de Municipio	156	Municipio	LIZOÁIN	Polígono	4	Parcela	59
Superficie catastral							5,46 Ha
Superficie total de tierra arable según SIGPAC							5,46 Ha
							

Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	5,46	7,80

Parcela N° 8

Nombre de la parcela: El Llano 3

Propietario: Marichalar Silva, Isabel

Cultivo (Especie y variedad): Cebada, Meseta

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	-	23,77	2,40

Parcela N° 9

Nombre de la parcela: Muga Liberrí

Propietario: Jaso Zapatería, Francisco Javier

Cultivo (Especie y variedad): Trigo blando, Berdún

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	-	6,84	12,80 *
2	PASTO ARBUSTIVO	SECANO	50	0,10	32,80
3	PASTO ARBUSTIVO	SECANO	50	0,08	2,00
4	PASTO ARBUSTIVO	SECANO	50	0,09	2,90

Parcela N° 10

Nombre de la parcela: Muga Aós

Propietario: Jaso Zapatería, Francisco Javier

Cultivo (Especie y variedad): Trigo blando, Berdún

Datos de parcela



Información SIGPAC 2013

Recinto	Uso 2013	Tipo riego	Coefficiente admisibilidad	Superf. (Ha/m ²)	Pendiente (%)
1	TIERRA ARABLE	SECANO	-	6,60	2,00
2	PASTO ARBUSTIVO	SECANO	50	0,59	4,50

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMO**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

ANEJO 2

Estudio edafológico de las parcelas

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO *NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA*
*USTIAPENAK BEREZITASUNA***

Septiembre 2013

ÍNDICE

Perfil Egüés 9 [Parcela P01]	1
Perfil Lizoáin 10 [Parcela P03]	3
Perfil Lizoáin 11 [Parcela P02]	5
Perfil Lizoáin 12 [Parcela P05]	7
Perfil Lizoáin 18 [Parcela P06]	11
Perfil Lizoáin 20 [Parcela P07]	14
Perfil Lizoáin 21 [Parcela P04]	16
Perfil Lónguida 4 [Parcelas P08, P09, P10]	18

Perfil Egüés 9 [Parcela P01]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Typic Calcixerept, Esquelética franca, Carbonática, Profunda **Tipo:** Calicata
Sección Control: 40- 100cm. **Geomorfología:** Terraza media **Material de partida:** Gravas y materiales finos aluviales **Fecha de la Observación:** 16/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 619354, Y = 4743001
Pendiente: 2% **Altitud:** 532m **Erosión:** Hídrica, laminar, ligera **Pedregosidad Superficial:** 25% de cantos mal rodados y angulares de 1 a 4 cm con recubrimiento parcial o limpios
Aprovechamiento: Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 40 cm **Color** : 7,5YR4/4, Pardo. **Textura:** Franco arcillosa **Canales Lombrices:** Frecuentes **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos:** 40% de cantos mal rodados y planos de 1 a 4 cm con recubrimiento parcial y limpios **Estructura:** Bloques subangulares, débil a moderada, media **Poros:** Muchos, tubulares e intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Muchas, finas y muy finas **Límite:** Neto y ondulado.

Ck1 40 - 95 cm **Color** : 7,5YR5/6, Pardo fuerte. **Textura:** Franca **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. No plástico. No adherente. **Elementos Gruesos:** 75% de cantos rodados, mal rodados y angulares, de 0,5 a 5 cm, aunque algunos llegan a los 30 cm con recubrimiento inferior **Estructura:** Impedida **Poros:** Muchos, intersticiales, finos y muy finos **Cutanes:** Frecuentes, finos y discontinuos de arcilla **Raíces:** Pocas, finas y muy finas **Límite:** Difuso.

Ck2 95 - 140 cm **Color** : 2,5YR3/6, Rojo oscuro. 50% y N5/0, Gris. 50% **Textura:** Franco arcillo arenosa **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. No plástico. No adherente **Elementos Gruesos:** 75% de cantos rodados, mal rodados y angulares, de 0,5 a 5 cm, aunque algunos llegan a los 30 cm con recubrimiento inferior **Estructura:** Impedida **Poros:** Muchos, intersticiales, finos y muy finos **Cutanes:** Frecuentes, finos y discontinuos de arcilla **Raíces:** No hay

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-40	Ck1 40-95	Ck2 95-140
--------------------------	------------	--------------	---------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	40,18	17,31	31,63
Arena (0,2-0,1)mm	7,48	7,27	6,91
Arena (0,1-0,05)mm	7,48	7,27	6,91
Arena (0,05-0,02)mm	9,23	11,56	9,40
Limo (0,02-0,002)mm	13,84	19,53	19,41
Arcilla (<0,002)mm	21,81	37,05	25,75

Análisis Químico

Caliza Total %	63,68	30,68	54,16
Caliza Activa %		4,03	
Mat. Org. Oxidable %	0,19	1,82	0,46
Nitrógeno Total %		1,13	
Fósforo asimi. ‰		0,17	
Potasio asimi. ‰		0,22	
Relación C/N		9,38	
pH en agua (1:2,5)	8,59	8,25	8,49
pH en CIK (1:2,5)	7,59	7,32	7,42
C.E. (1:1) (dS/m)	0,26	0,33	0,29
Yeso %			

Perfil Lizoáin 10 [Parcela P03]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Typic Calcixerept, Esquelética arcillosa, Carbonática, Profunda **Tipo:** Calicata
Sección Control: 40- 80cm. **Geomorfología:** Glacis **Material de partida:** Gravas y materiales finos coluviales **Fecha de la Observación:** 17/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 623317, Y = 4741558
Pendiente: 2% **Altitud:** 589m **Erosión:** Hídrica, laminar, ligera **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 40 cm **Color** : 2,5Y5/4, Pardo oliva claro. **Textura:** Arcillosa
Humedad/Consistencia: A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos:** 30% de cantos angulares y planos de 3-15 cm, recubrimiento fino total **Estructura:** Bloques subangulares, fina, débil a masiva **Poros:** Frecuentes, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, Tamaño finas y muy finas **Límite:** Neto y ondulado

Ck 40 - 80 cm **Color** : 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Arcillosa **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos:** 70% de cantos angulares y planos de 0,5-2 cm de espesor **Estructura:** Impedida **Poros:** Frecuentes, tubulares, muy finos **Raíces:** Frecuentes, muy finas 80+ Gran cantidad de piedras y cantos grandes

Datos Analíticos:

Horizonte	Ap	Ck
Profundidad	0-40	40-80

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	13,70	20,05
Arena (0,2-0,1)mm	3,99	6,40
Arena (0,1-0,05)mm	3,99	6,40
Arena (0,05-0,02)mm	9,04	9,89
Limo (0,02-0,002)mm	21,24	15,38
Arcilla (<0,002)mm	48,03	41,89

Análisis Químico

Caliza Total %	33,32	43,00
Caliza Activa %	5,91	
Mat. Org. Oxidable %	1,39	0,53
Nitrógeno Total %	1,10	
Fósforo asimi. ‰	1,15	
Potasio asimi. ‰	0,23	
Relación C/N	7,36	
pH en agua (1:2,5)	8,31	8,42
pH en CIK (1:2,5)	7,31	7,36
C.E. (1:1) (dS/m)	0,35	0,31
Yeso %		

Perfil Lizoáin 11 [Parcela P02]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Fluventic Haploxerept, Arcillosa fina, Mixta, Profunda **Tipo:** Calicata **Sección Control:** 35 - 100cm. **Geomorfología:** Glacis **Material de partida:** Gravas y materiales finos coluviales **Fecha de la Observación:** 17/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 622859, Y = 4741086 **Pendiente:** 2% **Altitud:** 566m **Erosión:** Hídrica laminar ligera **Pedregosidad Superficial:** 2% de cantos planos sueltos, de 5 a 20 cm **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 35 cm **Color :** 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Arcillosa **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 5% de cantos subangulares y planos de 3-10 cm, con recubrimiento total **Estructura:** Bloques angulares, débil a moderada, muy fina **Poros:** Frecuentes, intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y ondulado

Bw1 35 - 45 cm **Color :** 2,5y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Arcillosa **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 60% de cantos subangulares y planos de 1 a 15 cm con recubrimiento total, pero fino **Estructura:** Impedida **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, muy finas **Límite:** Brusco y ondulado

Bw2 45 - 70 cm **Color :** 2,5y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Arcillosa **Canales Lombrices:** Frecuentes **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** No. **Estructura:** Bloques subangulares, fuerte, muy fina **Poros:** Muchos, tubulares, muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Nódulos:** 5%, blancos, duros, de carbonatos de 3 a 4 mm **Límite:** Difuso

Bw3 70 - 100 cm **Color :** 5y6/3, Oliva pálido. **Textura:** Arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** No. **Estructura:** Bloques subangulares, moderada, fina **Poros:** Muchos, tubulares, muy finos **Raíces:** Pocas, muy finas **Límite:** Difuso

C 100 - 130 cm **Color** : 5y5/4, Oliva. **Textura**: Arcillosa **Canales Lombrices**: Pocos
Humedad/Consistencia: A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos**: No.
Estructura: Bloques angulares, fuerte, media **Poros**: Muchos, tubulares, finos y muy finos
Raíces: Pocas, muy finas **Límite**: Gradual y ondulado

r 130 - 170 cm Marga geológica **Textura**: Arcillo limosa

Datos Analíticos:

Horizonte	Ap	Bw1	Bw2	Bw3	C	r
Profundidad	0-35	35-45	45-70	70-100	100-130	130-170

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	2,64	4,28	4,28	0,85	1,90	0,38
Arena (0,2-0,1)mm	2,28	3,38	3,38	0,66	1,35	0,53
Arena (0,1-0,05)mm	2,28	3,38	3,38	0,66	1,35	0,53
Arena (0,05-0,02)mm	7,99	5,93	5,93	3,14	4,11	5,10
Limo (0,02-0,002)mm	21,09	26,99	26,99	35,60	34,97	44,59
Arcilla (<0,002)mm	63,72	56,02	56,02	59,09	56,33	48,87

Análisis Químico

Caliza Total %	6,12	32,32	32,32	33,64	35,64	37,92
Caliza Activa %	0,84					
Mat. Org. Oxidable %	1,98	0,58	0,58	0,43	0,46	0,21
Nitrógeno Total %	1,34					
Fósforo asimil. ‰	0,13					
Potasio asimil. ‰	0,25					
Relación C/N	8,58					
pH en agua (1:2,5)	8,23	8,51	8,51	8,36	8,37	8,36
pH en CIK (1:2,5)	7,20	7,22	7,22	7,25	7,24	7,33
C.E. (1:1) (dS/m)	0,43	0,29	0,29	0,27	0,27	0,28
Yeso %						

Perfil Lizoáin 12 [Parcela P05]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Fluventic Haploxerept, Arcillosa fina, Mixta, Profunda **Tipo:** Calicata **Sección Control:** 40 - 100cm. **Geomorfología:** Ladera de acumulación **Material de partida:** Margas **Fecha de la Observación:** 18/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 622312, Y = 4739680 **Pendiente:** 2% **Altitud:** 556m **Erosión:** Hídrica laminar ligera **Pedregosidad Superficial:** 10% de cantos angulares y mal rodados de 10cm **Grietas:** de 1 cm de anchura y separadas de 30 a 40 cm. **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 40 cm **Color :** 5Y4/3, Oliva. **Textura:** Franco arcillosa **Humedad/ Consistencia:** Poco húmedo. Firme. **Elementos Gruesos:** 15% de cantos angulares y mal rodados de 6 cm **Estructura:** Masiva **Poros:** Frecuentes, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y ondulado

Bw1 40 - 80 cm **Color :** 5Y4/3, Oliva. **Textura:** Franco arcillosa **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 15% de cantos angulosos de 3 a 10 cm **Estructura:** Bloques subangulares, moderada, media y tiende a prismática **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos y pocos medios **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Actividad Humana:** Carbón vegetal **Límite:** Difuso

Bw2 80 - 95 cm **Color :** 5Y4/3, Oliva. **Textura:** Arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos:** 5% de cantos angulares de 3 cm **Estructura:** Prismática, fuerte, media que rompe en bloques angulares, fuerte, media **Estructura Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, muy finas **Actividad Humana:** Carbón vegetal **Límite:** Neto y ondulado

Bw3 95 - 120 cm **Color :** 5Y4/3, Oliva. **Textura:** Arcillosa **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos:** 15% de cantos angulares de 3 cm **Estructura:** Bloques angulares, moderada, fina **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Muy pocas, finas **Actividad Humana:** Carbón vegetal **Límite:** Neto y ondulado

Bw4 120 - 170 cm **Color :** 5Y4/3, Oliva. **Textura:** Arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Firme. **Caras**

desplazamiento: Muchas **Elementos Gruesos:** 2% de cantos angulares de 3cm, limpios
Estructura: Bloques angulares, moderada a fuerte, fina y media **Poros:** Muchos, tubulares,
muy finos **Raíces:** No hay

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-40	Bw1 40-80	Bw2 80-95	Bw3 95-120	Bw4 120-170
----------------------------------	--------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	------------------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	8,82	3,61	2,12	4,89	3,90
Arena (0,2-0,1)mm	13,57	11,48	8,91	10,98	10,21
Arena (0,1-0,05)mm	13,57	11,48	8,91	10,98	10,21
Arena (0,05-0,02)mm	16,54	16,38	13,33	13,16	12,14
Limo (0,02-0,002)mm	17,96	19,96	20,17	17,22	16,81
Arcilla (<0,002)mm	29,53	37,11	46,57	42,79	46,72

Análisis Químico

Caliza Total %	22,80	14,40	8,00	7,20	6,00
Caliza Activa %	3,97				
Mat. Org. Oxidable %	1,17	0,95	1,51	1,14	0,96
Nitrógeno Total %	0,94				
Fósforo asimi. ‰	0,10				
Potasio asimi. ‰	0,19				
Relación C/N	7,23				
pH en agua (1:2,5)	8,19	8,28	8,21	8,24	8,23
pH en CIK (1:2,5)	7,45	7,39	7,37	7,37	7,35
C.E. (1:1) (dS/m)	0,31	0,30	0,33	0,33	0,36
Yeso %					

Perfil Lizoáin 18 [Parcela P06]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Fluventic Haploxerept, Arcillosa fina, Mixta, Profunda **Tipo:** Calicata **Sección Control:** 40 - 100cm. **Geomorfología:** Ladera de acumulación en resto de glacis **Material de partida:** Gravas y materiales finos coluviales sobre margas **Fecha de la Observación:** 18/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 623567, Y = 4739447 **Pendiente:** 5% **Altitud:** 527m **Erosión:** Hídrica laminar ligera **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 40 cm **Color :** 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Arcillo limosa **Canales Lombrices:** Frecuentes **Humedad/Consistencia:** Saturado. Plástico. Adherente. **Elementos Gruesos:** 5-10% de cantos redondeados de 3-10 cm con recubrimiento parcial **Estructura:** Bloques subangulares, débil, gruesa a masiva **Poros:** Frecuentes, tubulares e intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

Bw 40 - 75 cm **Color :** 2,5Y5/4, Pardo oliva claro. **Textura:** Franco arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Caras desplazamiento:** Pocas **Elementos Gruesos:** 10% de cantos rodados de 0,5-1 cm **Estructura:** Bloques angulares, moderada a fuerte, fina **Poros:** Frecuentes, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

C 75 - 90 cm **Textura:** Franco arcillosa **Humedad/Consistencia:** Poco húmedo. Firme. **Elementos Gruesos:** 80% de cantos subangulares y planos 2 a 10 cm. **Estructura:** Impedida **Poros:** Muchos, intersticiales, muy finos y frecuentes, tubulares, muy finos **Raíces:** Pocas, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

IIck 90 - 130 cm **Color :** 5y5/4, Oliva. **Textura:** Arcillosa **Elementos Gruesos:** No. **Estructura:** Bloques subangulares, débil, fina **Poros:** Frecuentes, tubulares, muy finos **Raíces:** Pocas, muy finas **Precipitados:** 5%, blancos en poros **Límite:** Difuso

IIcCr 130 - 160 cm **Color** : 5Y5/4, Oliva. **Textura**: Arcillosa **Humedad/Consistencia**: A capacidad de campo. Firme. **Elementos Gruesos**: No. **Estructura**: Bloques subangulares, moderada, fina, parcialmente heredada **Poros**: Frecuentes, tubulares, finos y muy finos **Raíces**: No hay **Precipitados**: 5%, blancos en poros

Iir 160+ Marga geológica

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-40	Bw 40-75	C 75-90	HCk 90-130	HCr 130-160
----------------------------------	--------------------	---------------------	--------------------	-----------------------	------------------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	3,97	15,40	15,40	4,46	2,93
Arena (0,2-0,1)mm	3,48	5,26	5,26	2,90	1,32
Arena (0,1-0,05)mm	3,48	5,26	5,26	2,90	1,32
Arena (0,05-0,02)mm	9,52	6,96	6,96	6,47	6,62
Limo (0,02-0,002)mm	34,47	27,34	27,34	30,87	31,55
Arcilla (<0,002)mm	45,08	39,80	39,80	52,41	56,26

Análisis Químico

Caliza Total %	15,20	26,80	26,80	38,40	38,40
Caliza Activa %	3,12				
Mat. Org. Oxidable %	1,39	0,62	0,62	0,52	0,38
Nitrógeno Total %	1,11				
Fósforo asimil. ‰	0,13				
Potasio asimil. ‰	0,26				
Relación C/N	7,30				
pH en agua (1:2,5)	8,09	8,33	8,33	8,33	8,34
pH en CIK (1:2,5)	7,25	7,36	0,36	7,32	7,28
C.E. (1:1) (dS/m)	0,32	0,28	0,28	0,31	0,28
Yeso %					

Perfil Lizoáin 20 [Parcela P07]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Typic Calcixerept, Esquelética franca, Mixta, Profunda **Tipo:** Calicata **Sección Control:** 28 - 100cm. **Geomorfología:** Glacis **Material de partida:** Gravas y materiales finos coluviales **Fecha de la Observación:** 18/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 622836, Y = 4738464 **Pendiente:** 15% **Altitud:** 635m **Erosión:** Hídrica, laminar, moderada **Pedregosidad Superficial:** 15% de cantos angulares de 3 a 10 cm **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 28 cm **Color :** 2,5Y5/4, Pardo oliva claro. **Textura:** Franco arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 15% de cantos angulares de arenisca de 3 a 10 cm, limpios **Estructura:** Bloques angulares, débil, media a masiva **Poros:** Frecuentes, tubulares, finos y muy finos e intersticiales, finos y medios **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y ondulado

Bk 28 - 65 cm **Color :** 2,5Y5/6, Pardo oliva claro. **Textura:** Franco arcillo arenosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 40% de cantos angulares de arenisca limpios **Estructura:** Bloques subangulares, moderada, fina **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos y frecuentes, intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Difuso

Bw 65 - 110 cm **Color :** 2,5Y5/6, Pardo oliva claro. **Textura:** Franco arenosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 40% de cantos angulares de arenisca, limpios **Estructura:** Bloques angulares, moderada, muy fina **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos y frecuentes, intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Precipitados:** algún precipitado blanco en poros tubulares **Límite:** Gradual y plano

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-28	Bk 28-65	Bw 65-110
----------------------------------	--------------------	---------------------	----------------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	11,65	22,13	26,57
Arena (0,2-0,1)mm	12,56	13,90	14,30
Arena (0,1-0,05)mm	12,56	13,90	14,30
Arena (0,05-0,02)mm	13,25	9,78	10,59
Limo (0,02-0,002)mm	19,53	13,59	15,21
Arcilla (<0,002)mm	30,46	26,71	19,04

Análisis Químico

Caliza Total %	39,60	44,00	8,80
Caliza Activa %	9,45		
Mat. Org. Oxidable %	1,17	0,43	0,14
Nitrógeno Total %	0,90		
Fósforo asimi. ‰	0,11		
Potasio asimi. ‰	0,11		
Relación C/N	7,56		
pH en agua (1:2,5)	8,18	8,49	8,60
pH en CIK (1:2,5)	7,42	7,52	7,73
C.E. (1:1) (dS/m)	0,35	0,25	0,24
Yeso %			

Perfil Lizoáin 21 [Parcela P04]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Typic Calcixerept, Franca gruesa, Carbonática, Profunda **Tipo:** Calicata
Sección Control: 35 - 100cm. **Geomorfología:** Glacis **Material de partida:** Gravas y materiales finos coluviales **Fecha de la Observación:** 18/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 623878, Y = 4738870
Pendiente: 3% **Altitud:** 570m **Erosión:** Hídrica, laminar ligera, **Pedregosidad Superficial:** 15% de cantos angulares de 5 a 10cm con recubrimiento total. **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 35 cm **Color :** 10YR3/4, Pardo amarillento oscuro. **Textura:** Franco arcillosa **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 15% de cantos angulares de 5 a 10cm **Estructura:** Masiva **Poros:** Frecuentes tubulares y pocos intersticiales, finos y muy finos **Observaciones:** Algunos canales de lombriz de 1 cm de diámetro **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

Bw 35 - 60 cm **Color :** 10YR3/6, Pardo amarillento oscuro. **Textura:** Franca **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** Poco húmedo. Friable. **Cutanes:** Pocos en poros y caras **Elementos Gruesos:** 40% de cantos rodados y angulosos de 0,5 -10 cm con recubrimiento parcial y limpios **Estructura:** Bloques angulares, moderada a fuerte, fina **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

Bk 60 - 110 cm **Color :** 10YR5/4, Pardo amarillento. **Textura:** Franco arenosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Friable. **Elementos Gruesos:** 20% de cantos rodados y subangulares de 4cm **Estructura:** Bloques angulares, moderada, fina **Poros:** Frecuentes, tubulares e intersticiales, finos y muy finos **Raíces:** Pocas, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano

C 110 - 155 cm **Color :** 2,5Y5/6, Pardo oliva claro. **Textura:** Franco arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Muy friable. **Elementos Gruesos:** 10% de chinitas de 3-4 mm **Estructura:** Bloques angulares, débil, fina a masiva **Poros:** Muchos, tubulares, finos y muy finos **Cutanes:** Pocos, en caras de estructura. oscuros **Raíces:** No hay **Límite:** Neto y ondulado

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-35	Bw 35-60	Bk 60-110	C 110-155
--------------------------	------------	-------------	--------------	--------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	3,98	10,76	26,94	7,07
Arena (0,2-0,1)mm	18,04	14,95	16,53	11,82
Arena (0,1-0,05)mm	18,04	14,95	16,53	11,82
Arena (0,05-0,02)mm	13,29	15,54	13,51	16,81
Limo (0,02-0,002)mm	16,55	18,16	14,28	22,63
Arcilla (<0,002)mm	30,11	25,65	12,22	29,86

Análisis Químico

Caliza Total %	5,60	26,40	50,00	22,40
Caliza Activa %	0,76			
Mat. Org. Oxidable %	1,70	0,60	0,28	0,28
Nitrógeno Total %	1,13			
Fósforo asimil. ‰	0,08			
Potasio asimil. ‰	0,24			
Relación C/N	8,76			
pH en agua (1:2,5)	8,10	8,43	8,65	8,69
pH en CIK (1:2,5)	7,27	7,46	7,71	7,43
C.E. (1:1) (dS/m)	0,36	0,27	0,25	0,28
Yeso %				

Perfil Lónguida 4 [Parcelas P08, P09, P10]

DATOS GENERALES:

Clasificación: Fluventic Haploxerept, Franca fina, Mixta, Profunda **Tipo:** Calicata **Sección Control:** 35 - 100cm. **Geomorfología:** Terraza baja **Material de partida:** Gravas y materiales finos aluviales **Fecha de la Observación:** 24/08/1988 **Autores:** J. Del Valle de Lersundi y J. Mediavilla **Localización (UTM, ED50, Huso 30N):** X = 631018, Y = 4736137 **Altitud:** 466m **Erosión:** Nula **Aprovechamiento:** Cereal

Descripción del perfil:

Ap 0 - 35 cm **Color :** 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Franca **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** Poco húmedo. Firme. **Elementos Gruesos:** 10% de cantos rodados y angulares, limpios **Estructura:** Masiva **Poros:** Frecuentes, tubulares, muy finos **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Neto y plano.

Bw1 35 - 75 cm **Color :** 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Franco arcillosa **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** Poco húmedo. Friable. **Elementos Gruesos:** 2% de cantos rodados y angulares de 3cm, limpios **Estructura:** Bloques subangulares, moderada, media con tendencia a prismática **Poros:** Muchos, tubulares, muy finos y pocos finos y medios **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Difuso

Bw2 75 - 110 cm **Color :** 2,5Y4/4, Pardo oliva. **Textura:** Franca **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** Poco húmedo. Friable. **Elementos Gruesos:** 2% de cantos rodados y angulares de 3cm, limpios **Estructura:** Bloques subangulares, moderada, media con tendencia a prismática **Poros:** Muchos, tubulares, muy finos y pocos finos y medios **Raíces:** Frecuentes, finas y muy finas **Límite:** Difuso

C 110 - 170 cm **Color :** 2,5Y5/4, Pardo oliva claro. **Textura:** Franca **Canales Lombrices:** Pocos **Caracoles:** Pocos **Humedad/Consistencia:** A capacidad de campo. Muy friable. **Elementos Gruesos:** No. **Estructura:** Masiva a Bloques angulares, débil, media **Poros:** Muchos, tubulares, muy finos y pocos finos y medios **Raíces:** Muy pocas, muy finas

Datos Analíticos:

Horizonte Profundidad	Ap 0-35	Bw1 35-75	Bw2 75-110	C 110-170
--------------------------	------------	--------------	---------------	--------------

Análisis Físico

Arena (2-0,2)mm	15,52	4,92	9,99	14,55
Arena (0,2-0,1)mm	10,97	8,38	7,90	13,29
Arena (0,1-0,05)mm	10,97	8,38	7,90	13,29
Arena (0,05-0,02)mm	17,68	19,06	15,21	11,68
Limo (0,02-0,002)mm	21,53	29,27	33,34	25,97
Arcilla (<0,002)mm	23,34	30,00	25,68	21,24

Análisis Químico

Caliza Total %	30,00	22,80	26,00	37,20
Caliza Activa %	5,15			
Mat. Org. Oxidable %	1,19	0,95	1,07	0,67
Nitrógeno Total %	0,08			
Fósforo asimil. ‰	120,00			
Potasio asimil. ‰	100,00			
Relación C/N	8,31			
pH en agua (1:2,5)	8,56	8,55	8,55	8,58
pH en CIK (1:2,5)	7,53	7,46	7,48	7,54
C.E. (1:1) (dS/m)	0,25	0,22	0,23	0,24
Yeso %				

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

Anejo 3:
Manejo de las parcelas

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO *NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA*
*USTIAPENAK BEREZITASUNA***

Septiembre 2013

ÍNDICE

Parcela Nº 1.....	1
Parcela Nº 2.....	2
Parcela nº 3.....	3
Parcela Nº 4.....	4
Parcela Nº 5.....	5
Parcela Nº 6.....	6
Parcela Nº 7.....	7
Parcela Nº 8.....	8
Parcela Nº 9.....	9
Parcela Nº 10.....	10

Parcela N° 1

Nombre: Simes.

La parcela nº 1 se encuentra situada en el municipio de Egüés y pertenece a la S.C. Orbaiz Galar y Orbaiz Mur.

Presenta una superficie de 3,10 Ha, de las cuales únicamente 2,85 Ha están sembradas de **Trigo blando Bokaro**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
86	8	122	1	2,85

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
5/8/2011	Labrar		
8/9/2011	Grada rotativa		
21/9/2011	Abonado	Super 45%	165 Kg/Ha
19/10/2011	Sembrar	Trigo B. Bokaro	165 Kg/Ha
19/10/2011	Molón		
28/11/2011	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
10/1/2012	Abonado	Urea 46%	330 Kg/Ha
29/2/2012	Abonado	Urea 46%	352 Kg/Ha
10/3/2012	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
10/3/2012	Aceite	Adigor	1 L/Ha
24/4/2012	Fungicida	Mystic	1,25 L/Ha
13/5/2012	Fungicida	Escolta	0,33 L/Ha
9/7/2012	Cosecha		

Producción real de grano de 8.696 Kg/Ha.

Parcela N° 2

Nombre: Debajo casa.

La parcela nº 2 se encuentra situada en el municipio de Egüés y pertenece a la S.C. Cabodevilla Lizarraga y Esquiroz

Presenta una superficie de 6,10 Ha, de las cuales únicamente 3,01 Ha están sembradas de **Cebada Meseta**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
86	4	7	4	3,01

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
9/9/2011	Labrar		
17/9/2011	Rastra y molón		
23/9/2011	Abonado	Super 45%	143 Kg/Ha
13/10/2011	Rastra y molón		
14/10/2011	Sembrar	Cebada Meseta	150 Kg/ha
14/10/2011	Molón		
25/11/2011	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
14/1/2012	Abonado	Urea Sulfato	198 Kg/Ha
13/3/2012	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
16/3/2012	Abonado	Urea Sulfato	176 Kg/Ha
25/6/2012	Cosechar		

Producción real de grano 5.528 Kg/Ha.

Parcela nº 3

Nombre: Fuente fraile.

La parcela nº 3 se encuentra situada en el municipio de Lizoáin y pertenece a la S.C. Cabodevilla Lizarraga y Esquiroz

Presenta una superficie de 6,69 Ha, sembradas en su totalidad de **Cebada Meseta**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
156	1	111	1	6,69

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
16/7/2011	Labrar		
17/9/2011	Grada rotativa		
16/10/2011	Sembrar	Cebada Meseta	190 Kg/Ha
16/10/2011	Molón		
28/11/2011	Herbicida	Javelo	4 L/Ha
15/1/2012	Abonado	Urea Sulfato	220 Kg/Ha
16/3/2012	Abonado	Urea Sulfato	220 Kg/Ha
17/3/2012	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
25/6/2012	Cosechar		

Producción real de grano 7.055 Kg/Ha

Parcela N° 4

Nombre: El Parral.

La parcela n° 4 se encuentra situada en el municipio de Egüés y pertenece al agricultor David Goñi Esquiroz.

Presenta una superficie de 5,68 Ha, sembradas en su totalidad de **Trigo blando García**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
86	5	30	1	5,68

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
2/9/2011	Labrar		
5/9/2011	Rastra y molón		
26/9/2011	Abonado	Super 45%	164 Kg/Ha
26/9/2011	Abonado	7 – 10 – 6	164 Kg/Ha
22/10/2011	Sembrar	Trigo B. García	210 Kg/ha
1/11/2011	Herbicida	Arelar	4 L/Ha
1/11/2011	Herbicida	Pearl	20 gr/Ha
11/1/2012	Abonado	Urea Sulfato	280 Kg/Ha
13/3/2012	Abonado	Urea Sulfato	246 Kg/Ha
27/3/2012	Herbicida	Axial	0,5 L/Ha
7/5/2012	Fungicida	Escolta	0,25 L/Ha
22/7/2012	Cosechar		

Producción real de grano 9.792 Kg/Ha.

Parcela N° 5

Nombre: Campo de Yelz.

La parcela nº 5 se encuentra situada en el municipio de Lizoáin y pertenece al agricultor José Luis Garde Agudo.

Presenta una superficie de 1,76 Ha, sembradas en su totalidad de **Cebada Meseta**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
156	2	148	1	1,76

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
18/10/2011	Labrar y Sembrar	Cebada Meseta	198 Kg/ha
17/1/2012	Abonado	Urea Sulfato	275 Kg/Ha
18/1/2012	Herbicida	Javelo	2 L/Ha
2/2/2012	Herbicida	Javelo	2 L/Ha
2/3/2012	Abonado	Urea Sulfato	275 Kg/Ha
29/6/2012	Cosechar		

Producción real de grano 6.368 Kg/Ha.

Parcela N° 6

Nombre: Camino de Lerruz.

La parcela n° 6 se encuentra situada en el municipio de Lizoáin y pertenece a la S.C Berasain Dominguez.

Presenta una superficie de 4,70 Ha, sembradas en su totalidad de **Trigo blando Camargo**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
156	4	55	1	4,70

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
2/9/2011	Labrar		
7/9/2011	Rotativa		
5/10/2011	Rotativa		
22/10/2011	Sembrar	Trigo B. Camargo	200 Kg/Ha
24/10/2011	Molón		
1/12/2011	Herbicida	Atlantis	500 gr/Ha
11/12/2011	Herbicida	Yard	1 L/Ha
12/1/2012	Abonado	Urea Sulfatp	250 Kg/Ha
13/3/2012	Abonado	Urea 46%	270 Kg/Ha
13/7/2012	Cosechar		

Producción real de grano 5.523 Kg/Ha.

Parcela N° 7

Nombre: Galdairu.

La parcela nº 7 se encuentra situada en el municipio de Lizoáin y pertenece a el agricultor Vicente Eslava Huarte.

Presenta una superficie de 5,46 Ha, sembradas en su totalidad de **Cebada Opal**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
156	4	59	1	5,46

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
4/9/2011	Labrar		
7/10/2011	Rotativa		
19/10/2011	Sembrar	Cebada Opal	200 Kg/Ha
22/10/2011	Molón		
24/10/2011	Abonado	Super 45%	178 Kg/Ha
8/11/2011	Herbicida	Splendor	1,2 L/Ha
25/1/2012	Herbicida	Mohican	275 gr/Ha
10/1/2012	Abonado	Urea Sulfato	220 Kg/Ha
6/3/2012	Abonado	Urea 46%	180 Kg/Ha
27/6/2012	Cosechar		

Producción real de grano 7.531 Kg/Ha.

Parcela N° 8

Nombre: El Llano 3.

La parcela n° 8 se encuentra situada en el municipio de Longuida y pertenece a la agricultora Isabel Marichalar Silva.

Presenta una superficie de 9,42 Ha, sembradas en su totalidad de **Cebada Meseta**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
158	18	21	1	9,42

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
24/8/2011	Arar		
2/10/2011	Grada rotativa		
9/10/2011	Abonado Fondo	Super 45%	170 Kg/Ha
19/10/2011	Grada rotativa		
21/10/2011	Siembra	Cebada Meseta	234 Kg/Ha
22/11/2011	Insecticida	Exal	2 L/Ha
11/1/2012	1º Abonado cobertera	Urea Sulfato	200 Kg/Ha
2/3/2012	Herbicida	Axia + Adigor	0,6 + 1,2 L/Ha
24/3/2012	2º Abonado cobertera	Urea 45%	200 Kg/Ha
27/6/2012	Cosechar		

Producción real de grano 5.609 Kg/Ha.

Parcela N° 9

Nombre: Muga Liberrri.

La parcela nº 9 se encuentra situada en el municipio de Longuida y pertenece al agricultor Francisco Javier Jaso Zapateria.

Presenta una superficie de 6,89 Ha, sembradas en su totalidad de **Trigo blando Berdún**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
158	19	107	1	6,89

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
18/9/2011	Labrar		
6/10/2011	Rastra		
7/10/2011	Abonado Fondo	7 – 10 – 6	200 Kg/Ha
18/11/2011	Siembra	Trigo B. Berdún	230 Kg/Ha
21/10/2011	Herbicida	Javelo	3 L/Ha
18/1/2012	1° Abonado cobertera	Urea Sulfato	210 Kg/Ha
12/3/2012	2° Abonado cobertera	Urea 46%	293 Kg/Ha
13/3/2012	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
18/5/2012	Fungicida	Adigor	1 L/Ha
12/7/2012	Cosechar		

Producción real de grano 7.144 Kg/Ha.

Parcela N° 10

Nombre: Muga Aós.

La parcela nº 9 se encuentra situada en el municipio de Longuida y pertenece al agricultor Francisco Turrillas Arizcuren.

Presenta una superficie total de 8,87 Ha, procedentes de la unión de dos parcelas contiguas detalladas a continuación. La superficie está sembrada en su totalidad por el cultivo **Trigo blando Berdún**.

MUNICIPIO	POLIGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SEMBRADA
158	20	76	1	6,6

FECHA	LABOR	PRODUCTO	CANTIDAD
18/8/2011	Labrar		
29/8/2011	Zaranda		
7/10/2011	Abonado Fondo	7 – 10 - 6	200 Kg/Ha
21/11/2011	Siembra	Trigo B. Berdún	220 Kg/Ha
28/11/2011	Herbicida	Javelo	3 L/Ha
17/1/2012	Abonado cobertera	Urea 46%	210 Kg/Ha
7/3/2012	Herbicida	Axial	0,6 L/Ha
13/3/2012	Abonado cobertera	Urea 46%	259 L/Ha
9/7/2012	Cosechar		

Producción real de grano 5.008 Kg/Ha.

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO A
TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

Anejo 4: Resultados

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO *NEKAZARITZA ETA ABELTZAIN*
*USTIAPENAK BEREZITASUNA***

Septiembre 2013

ÍNDICE

1.1	Datos reales.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1	Humedad del suelo	1
1.1.2	Fenología	2
1.1.3	Biomasa	3
1.1.4	Producción	4
1.2	Datos simulados.....	5
1.2.1	Humedad del suelo	5
1.2.2	Fenología	6
1.2.3	Biomasa	7
1.2.4	Producción	8

1.1 Datos reales

A continuación se muestran los datos reales obtenidos de las diferentes medidas realizadas en campo en las fechas ya señaladas. Se muestran los valores medios por parcela de humedad del suelo, estado fenológico y biomasa.

1.1.1 Humedad del suelo

Humedad del suelo (cm ³ /cm ³)										
	Cebada					Trigo Blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P7	P2	P3	P5	P8	P1	P4	P6	P9	P10
01/03/12	0,153	0,167	0,180	0,170	0,181	0,136	0,144	0,165	0,096	0,115
08/03/12	0,181	0,216	0,230	0,190	0,192	0,190	0,184	0,183	0,149	0,128
15/03/12	0,141	0,187	0,190	0,162	0,174	0,166	0,151	0,156	0,115	0,107
22/03/12	0,230	0,254	0,263	0,235	0,260	0,235	0,224	0,242	0,114	0,208
02/04/12	0,134	0,164	0,166	0,141	0,160	0,116	0,123	0,159	0,233	0,103
11/04/12	0,237	0,256	0,260	0,237	0,262	0,226	0,222	0,248	0,253	0,216
18/04/12	0,245	0,259	0,264	0,241	0,269	0,241	0,246	0,263	0,260	0,221
02/05/12	0,276	0,270	0,217	0,247	0,257	0,259	0,246	0,283	0,259	0,226
08/05/12	0,279	0,292	0,291	0,260	0,269	0,258	0,253	0,286	0,251	0,233
21/05/12	0,268	0,284	0,284	0,257	0,257	0,262	0,259	0,283	0,152	0,216
29/05/12	0,176	0,195	0,193	0,172	0,163	0,169	0,164	0,180	0,199	0,128
05/06/12	0,218	0,240	0,233	0,212	0,188	0,212	0,211	0,225	0,182	0,143
12/06/12	0,184	0,200	0,194	0,188	0,163	0,178	0,189	0,183	0,182	0,131
18/06/12	0,132	0,166	0,284	0,135	0,138	0,110	0,125	0,096	0,105	0,086
26/06/12	0,162	0,235	0,210		0,168	0,104	0,088	0,066	0,111	0,085
13/07/12	0,117	0,184	0,180	0,172		0,078	0,082	0,075	0,064	0,075

24/07/12	0,135	0,081	0,180	0,175	0,184	0,067	0,085	0,074	0,080	0,088
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

1.1.2 Fenología

Fenología (Estados fenológicos según la escala de Zadock)										
Cebada						Trigo blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P 7	P 2	P 3	P 5	P 8	P 1	P 4	P 6	P 9	P 10
01/03/12	Z26-28	Z23-25	Z22-24	Z24-26	Z23-24	Z21-23	Z24-26	Z22-23	Z24-26	Z23-25
15/03/12	Z26-28	Z24-25	Z22-23	Z26-28	Z24-26	Z22-23	Z22-23	Z23-24	Z22-23	Z21-22
02/04/12	Z32	Z32	Z30	Z32	Z32	Z31	Z31	Z31	Z31	Z31
11/04/12	Z39	Z39	Z31	Z37	Z37	Z32	Z37	Z37	Z32	Z32
18/04/12	Z37	Z40	Z39	Z42	Z42	Z37	Z37	Z37	Z37	Z37
02/05/12	Z40-45	Z52-59	Z45-49	Z55	Z49-55	Z39	Z39	Z39-42	Z42-45	Z42-45
08/05/12	Z50-55	Z55-59	Z50-55	Z45-50	Z55-59	Z39-40	Z39-40	Z39-40	Z45-49	Z45-49
21/05/12	Z71	Z75	Z79	Z60	Z79	Z59	Z59	Z59	Z69	Z69
29/05/12	Z83-85	Z85	Z85	Z85	Z85	Z70	Z70	Z70	Z70-71	Z70-71
05/06/12	Z85-87	Z85-87	Z85-87	Z83-85	Z87	Z75-77	Z70-73	Z75	Z75-80	Z77-83
18/06/12	Z89	Z93-97	Z92	Z87	Z93-97	Z85	Z83-85	Z83-85	Z85-87	Z85
26/06/12	Z92	Cosechado	Cosechado		Z97	Z85	Z85	Z85	Z87-89	Z89
13/07/12	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Z92	Z92	Cosechado	Cosechado
24/07/12	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado

1.1.3 Biomasa

Biomasa (kg/ha)										
	Cebada					Trigo blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P 7	P 2	P 3	P 5	P 8	P 1	P 4	P 6	P 9	P 10
01/03/12	2073	1158	838	1262	1791	871	900	1159	1479	1153
15/03/12	1199,8	1174,4	1367,2	1623,2	959,4	1084,3	1133,5	792,2	1062,5	706
02/04/12	3483,7	2461,9	1664,9	2962,3	3541,4	2412,5	3075,8	2202	3333,3	2213,4
11/04/12	5581,3	4451,2	3809,4	5057,9	6197,8	3686,2	4621,7	5118,4	5125	2757
18/04/12	4956,4	4200,6	3921,4	5015,6	4936,7	3476,3	4377,3	4870,4	6520,8	3618
02/05/12	8299,2	6739,9	5238,1	7710,3	8855	5137,2	6011,9	6864,8	7187,5	7133,6
08/05/12	8292,2	7146,4	7595,2	7764	9087,2	7562,8	8421,5	7563,1	9187,5	5349,7
21/05/12	12442	10812	9639,6	10936	10259	11053	8291,9	10501	10583	9605,6
05/06/12	17623	12680	13058	14248	14562	13001	12645	13864	14895	14398
18/06/12	18860	14385	13266	14779	17088	15835	17661	20124	15625	16754
26/06/12	0	0	0	0	0	17813	0	17953	0	0

1.1.4 Producción

Parcela N°:	Producción real de grano (Kg/Ha)	Variedad	Especie
7	4.000	Opal	CEBADA
2	4.797	Meseta	
3	2.860		
5	5.000		
8	4.100		
1	6.175	Bokaro	TRIGO BLANDO
4	10.300	García	
6	6.200	Camargo	
9	7.200	Berdún	
10	2.400		

1.2 Datos simulados

A continuación se muestran los datos simulados obtenidos por el programa de simulación DSSAT, para los diferentes cultivos en las parcelas detalladas anteriormente.

1.2.1 Humedad del suelo

Humedad del suelo (cm ³ /cm ³)										
	Cebada					Trigo Blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P7	P2	P3	P5	P8	P1	P4	P6	P9	P10
01/03/12	0,125	0,139	0,180	0,124	0,113	0,152	0,152	0,221	0,115	0,118
08/03/12	0,218	0,253	0,259	0,236	0,225	0,242	0,242	0,265	0,199	0,201
15/03/12	0,136	0,183	0,174	0,172	0,157	0,146	0,146	0,201	0,129	0,130
22/03/12	0,205	0,219	0,222	0,281	0,214	0,220	0,220	0,212	0,310	0,310
02/04/12	0,238	0,248	0,147	0,162	0,246	0,261	0,261	0,238	0,133	0,132
11/04/12	0,287	0,283	0,304	0,283	0,275	0,305	0,305	0,267	0,296	0,292
18/04/12	0,271	0,259	0,272	0,312	0,263	0,292	0,292	0,260	0,290	0,285
02/05/12	0,286	0,276	0,291	0,258	0,275	0,306	0,306	0,268	0,281	0,274
08/05/12	0,186	0,198	0,295	0,304	0,194	0,263	0,263	0,235	0,290	0,282
21/05/12	0,307	0,305	0,315	0,309	0,313	0,298	0,298	0,282	0,320	0,320
29/05/12	0,159	0,169	0,212	0,170	0,166	0,208	0,208	0,195	0,199	0,172
05/06/12	0,232	0,242	0,247	0,242	0,238	0,160	0,160	0,265	0,263	0,257
12/06/12	0,197	0,293	0,205	0,303	0,285	0,209	0,209	0,286	0,279	0,287
18/06/12	0,153	0,190	0,305	0,219	0,155	0,099	0,177	0,101	0,140	0,177
26/06/12	0,177	0,248	0,240	0,127	0,112	0,094	0,090	0,096	0,130	0,157
13/07/12	0,134	0,154	0,150	0,163	0,092	0,073	0,144	0,087	0,181	0,115
24/07/12	0,145	0,070	0,150	0,157	0,119	0,071	0,120	0,084	0,091	0,088

1.2.2 Fenología

Fenología (Estados fenológicos)										
	Cebada					Trigo blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P 7	P 2	P 3	P 5	P 8	P 1	P 4	P 6	P 9	P 10
01/03/12	Z22	Z25	Z22	Z30	Z24	Z30	Z24	Z28	Z21	Z18
15/03/12	Z23	Z28	Z26	Z32	Z28	Z30	Z25	Z30	Z22	Z21
02/04/12	Z29	Z39	Z29	Z37	Z34	Z30	Z28	Z34	Z23	Z31
11/04/12	Z36	Z41	Z32	Z44	Z45	Z30	Z30	Z40	Z24	Z33
18/04/12	Z40	Z44	Z38	Z52	Z49	Z30	Z30	Z41	Z33	Z38
02/05/12	Z49	Z52	Z50	Z59	Z57	Z34	Z35	Z45	Z42	Z46
08/05/12	Z57	Z65	Z55	Z64	Z60	Z38	Z38	Z57	Z44	Z50
21/05/12	Z78	Z74	Z79	Z66	Z62	Z48	Z48	Z68	Z72	Z70
29/05/12	Z86	Z87	Z85	Z89	Z79	Z73	Z72	Z73	Z80	Z76
05/06/12	Z88	Z91	Z86	Z93	Z86	Z81	Z80	Z84	Z83	Z80
18/06/12	Z90	Z99	Z91	Z97	Z96	Z88	Z84	Z87	Z88	Z85
26/06/12	Z95	Cosechado	Z99	Z99	Z99	Z95	Z88	Z94	Z92	Z88
13/07/12	Z99	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	100	Z99	Z99	Cosechado	Z97
24/07/12	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado	Cosechado

1.2.3 Biomasa

Biomasa (Kg/ha)										
	Cebada					Trigo blando				
	Opal	Meseta	Meseta	Meseta	Meseta	Bokaro	García	Camargo	Berdún	Berdún
Fecha	P 7	P 2	P 3	P 5	P 8	P 1	P 4	P 6	P 9	P 10
01/03/12	2046	1259	2435	1302	1005	1873	2081	3618	4751	3208
15/03/12	2456	1469	2974	1561	1186	2075	2311	4021	5416	3676
02/04/12	3418	2046	4091	3197	3724	2334	3327	4538	6271	4277
11/04/12	4825	3594	4771	4282	7127	2464	4475	4796	6699	4578
18/04/12	5929	5220	5862	5067	7650	3182	4967	4997	7031	4812
02/05/12	7346	6073	6862	6701	8681	7705	7808	7502	8438	6023
08/05/12	7868	8013	8992	7760	9262	9644	8538	8263	9128	6629
21/05/12	11955	10375	11380	10891	11131	11150	10843	11933	10571	9335
05/06/12	15712	12423	13450	13753	14445	12561	12372	16071	13457	14306
18/06/12	18250	14299	0	13991	17389	15297	13312	19642	15135	16523
26/06/12	0	0	0	0	0	16540	0	19642	0	0

1.2.4 Producción

Parcela Nº:	Producción simulada (Kg/Ha)	Variedad	Especie
7	3.645	Opal	CEBADA
2	4.295	Meseta	
3	2.376		
5	4.870		
8	4.650		
1	6.309	Bokaro	TRIGO
4	9.997	García	
6	6.972	Camargo	
9	7.834	Berdún	
10	2.444		
			BLANDO

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO
A TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

Anejo 5:

Tratamientos fitosanitarios empleados y dosis recomendadas según MAGRAMA

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Septiembre 2013

ÍNDICE

1.1	Herbicidas	1
1.2	Fungicidas e insecticidas	2
1.3	Abonados	2

1.1 Herbicidas

Nº Reg.	Tratamiento	Composición	Control de:	Dosis	Plazo seguridad (días)	Cultivo
18205	Javelo	Diflufenican 4.2% + Isoproturón 45%	Monocotiledóneas y dicotiledóneas anuales	3 l/ha	NP	Cebada y Trigo blando
24679	Axial	Pinoxaden 10%	Gramíneas anuales	0,3 – 0,6 l/ha	NP	Cebada y Trigo blando
24678	Adigor	Aceite de colza 44%	Coadyuvante	0,5 %	NP	Cebada y Trigo
22725	Pearl	Clorsulfuron 75%	Dicotiledóneas anuales, Phalaris y Vallico	14 – 20 g/ha	NP	Cebada y Trigo
23544	Atlantis WG	Iodosulfuron-metil-sodio 0.6% + Mesosulfuronmetil 3%	Malas hierbas anuales	300 – 500 g/ha	NP	Trigo
23783	Yard triple	Bromoxinil 6.25% + Diflufenican 2% + Ioxinil 3,75%	Dicotiledóneas anuales	1 – 2 l/ha	60	Cebada y Trigo
	Splendor	Tralkoxidim 25%	Gramíneas	1,2 – 1,6 L/ha	15	Cereales
24408	Mohican Plus	Clortoluron 40% + Diflufenican 2,5%	Malas hierbas anuales	1,75 – 2,5 l/ha	NP	Cebada y Trigo blando

1.2 Fungicidas e insecticidas

Nº Registro	Tratamiento	Composición	Control de:	Dosis (l/ha)	Plazo seguridad (días)	Cultivo
24235	Mystis	Tebuconazol 25%	Helminthosporium, Oídio, Roya, Septoria	1	35	Cebada y Trigo
23417	Escolta	Ciproconazol 16% + Trifloxistrobin 37.5%	Oídio, Roya, Septoria	0,2 – 0,35	35	Cebada y Trigo
22643	Exal	Clorpirifos 48%	Zabro	0,15 – 0,2 %		Cereales

1.3 Abonados

Abono	Composición	Dosis (Kg/ha)	Unidades Fertilizantes (UF) por 100 Kg/ha de aplicación	Época aplicación
Superfosfato 45%	Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅) 45%	200 - 500	45 UF de Fósforo	Sept - Oct - Nov
Urea 46%	46% de Nitrógeno ureico	200 - 400	46 UF de Nitrógeno	Enero - marzo
Urea sulfato	N amoniacal 21%, SO ₃ 60%	200 - 400	21 UF N, 60 UF S	Enero - marzo
7 – 10 - 6	7%N, 10% P ₂ O ₅ , 6% K ₂ O	200	7UF N, 10 UF P ₂ O ₅ , 6 UF K ₂ O	Sept – Oct - Nov

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**SIMULACIÓN DEL DESARROLLO DE CULTIVOS CEREALISTAS DE SECANO
A TRAVÉS DEL MODELO DSSAT**

.....

presentado por

Blanca Ramia Alegre

.....

ANEJO 6

Descripción de las variedades utilizadas

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO *NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA*
*USTIAPENAK BEREZITASUNA***

Septiembre 2013

ÍNDICE

Variedades utilizadas	1
-----------------------------	---

Variedades utilizadas

A continuación se detallan las variedades utilizadas por el programa DSSAT para la simulación de los cultivos.

Especie	Variedad	Ciclo	Talla	Producción	Zona de siembra	Fecha de siembra	Observaciones
Cebada	Arabi Abiad	Medio	Media	Muy productiva	Secanos frescos y regadíos	Fin Octubre , mediados Noviembre	Estadío grano lechoso final de mayo
Cebada	Maris Badger	Largo	Baja	Productiva	Secanos frescos	Recomendable tardía (Noviembre)	Muy resistente al frio
Trigo	Newton	Medio-Precoz	Media - Baja	Productiva	Secanos	Fin Octubre, inicio Noviembre	Para alimentación
Trigo	Manitou	Medio-Precoz	Media - Baja	Productiva	Secanos frescos y regadíos	Fin Octubre, inicio Noviembre	Espiga mocha
Trigo	Maris Fundin	Medio - Largo	Corta	Productivo	Secanos y regadíos	Noviembre, aunque también fin de Octubre	Gran capacidad de ahijado

Tabla 17. Variedades utilizadas